

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Agronomia**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO SWAT NA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO
DE SEDIMENTOS NA BACIA DO CÓRREGO CAPÃO COMPRIDO NO
DISTRITO FEDERAL**

Sara Ferrigo

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JUNHO/2011**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Agronomia**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO SWAT NA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO
DE SEDIMENTOS NA BACIA DO CÓRREGO CAPÃO COMPRIDO NO
DISTRITO FEDERAL**

Sara Ferrigo

**Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa
Catarina para Conclusão do Curso de Graduação em
Agronomia**

**Orientador
Prof. Dr. Antonio Augusto Alves Pereira**

**Co-orientador
Prof. Dr. Sérgio Koide**

**Colaborador
Dr. Ricardo Minoti**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JUNHO/2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO SWAT NA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE
SEDIMENTOS NA BACIA DO CÓRREGO CAPÃO COMPRIDO NO DISTRITO
FEDERAL**

SARA FERRIGO

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Agronomia**

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Antonio augusto Alves Pereira, Dr.
(Orientador)**

Prof. Masato Kobiyama, Dr.

Prof. Paulo César Poliseli, Dr.

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JUNHO/2011**

Dedico,
Aos meus pais Itamar e Silvana
pelo apoio e exemplos de ser.
E ao Gabriel,
pela companhia e amor.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Itamar e Silvana, pela força, incentivo, amor e carinho. Por estarem sempre ao meu lado mesmo nas maiores distâncias, amo vocês demais e serei eternamente grata a tudo.

Ao Gabriel pelo amor, carinho, companheirismo, por ser minha base e cuidar tanto de mim, muito obrigada por tudo meu anjo!

Ao meu irmão Israel e minha cunhada Nati, pelo acolhimento em Floripa, pelo carinho e almoços. Vocês são muito especiais para mim.

Ao Théo, este ser iluminado, por ser motivo de tanta alegria a minha família.

À minha irmã pela companhia e mais fiel amizade.

Ao Rubens, à Maurina, ao Opa e à Júlia, por toda ajuda e apoio que sempre me deram. Obrigada por tudo!

À Leila, pela amizade e parceria, cumplicidade e companhia. Amiga de verdade, obrigada por ser isso pra mim e desde o primeiro semestre!

Ao Hugo, por fazer feliz uma pessoa que eu me preocupo e gosto muito!

À Flor e à Cla por várias bolachas destruídas.

À Julia, Milla, Cla, Pri e todos ENS01 por todos os cafés na lagoa...

Aos meus amigos em Brasília, Lucas, Bruna, Caleb e Aliny, pelo acolhimento, carinho e amizade, muito obrigada!

Ao Prof Antonio Augusto, pelos auxílios e por me orientar neste trabalho.

Ao Prof. Sérgio Koide, pelos ensinamentos, confiança, acolhimento e apoio

Ao Ricardo Minotti, por toda atenção, tempo e ensinamentos dispensados, sendo essencial a este trabalho.

À Lucimar e ao Borsoi, por todo empenho.

À Caesb, a Embrapa e ao Inmet pela disponibilização de seus dados.

Aos professores do CCA.

A todas as pessoas que mencionei e as que não mencionei, que contribuíram direta e indiretamente no desenvolvimento deste estudo, meus sinceros agradecimentos!

“Tudo o que existe deve ser cuidado para continuar a existir.
A essência humana reside na capacidade de tomar cuidado.
Talvez seja este o maior desafio da capacidade inventiva do ser humano,
despertar a sensibilidade e a responsabilidade
com os cuidados da Terra”

Leonardo Boff

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Descoberto (BHRD), localizada no Distrito Federal (DF) e estado de Goiás, foi dividida em 14 sub bacias e microbacias onde seus sistemas hídricos contribuem para o lago do Descoberto, sendo ele responsável por 63% do abastecimento público de água no DF. Uma das sub bacias que deságuam no lago é a bacia hidrográfica do córrego Capão Comprido (BHCC), que é ocupada por áreas agrícolas e pequenas áreas urbanas em expansão. Por não apresentar atividade industrial ou lançamento significativo de efluentes domésticos, a principal preocupação é a poluição difusa. O presente estudo teve como objetivo analisar os processos hidrossedimentológicos na BHCC com base na aplicação do modelo SWAT. A base de dados, referente aos dados climáticos (período de 18 anos), uso, ocupação e tipos de solo e topografia do terreno, foi construída e inserida ao SWAT. A aplicação do modelo envolveu a avaliação de três distintos cenários: (1) cenário sem ação antrópica (supostamente em estado original); (2) cenário atual da bacia; e (3) cenário com a bacia inteiramente ocupada por agricultura e urbanização. Entre os cenários, o balanço hidrológico apresentou diferenças significativas, principalmente em relação à evapotranspiração e ao escoamento superficial. O escoamento superficial direto apresentou um aumento de 278% e 638% para os cenários 2 e 3 em relação ao cenário 1. O balanço sedimentológico foi expressivamente alterado pelos diferentes usos do solo dos cenários, a produção de sedimentos apresentou um aumento de 2.514% no cenário 2 e 6.471% no cenário 3, quando comparadas ao cenário 1. Em suma, as simulações geradas mostraram a tendência observada de redução de vida útil do lago pela sedimentação que, por sua vez, pode ser acelerada pelos diferentes usos do solo. O modelo mostrou seu potencial no estudo de cenários de ocupação e suas conseqüências, devendo ainda ser adequadamente calibrado e verificado.

PALAVRAS CHAVES: processos hidrossedimentológicos, SWAT, Bacia do Córrego Capão Comprido

ABSTRACT

The Descoberto river watershed (BRHD), located in Distrito Federal (DF) and state of Goiás, was divided into 14 sub basins and micro basins. Their systems supply the Descoberto Lake, which is responsible for 63% of public water supply in the DF. One of these sub basins that drain into the lake is the watershed of Capão Comprido stream (BHCC) that is occupied by agricultural areas and small urban expansion area. Because it does not have significant industrial activity or release of wastewater into the stream, the main preoccupation is the diffuse pollution. This study aimed at the analysis of hydrosedimentological processes in BHCC based on the application of SWAT model. The database related to climate data (period of 18 years), use, occupation and types of soil and topography, was developed and inserted to the SWAT. The model application involved the assessment on three different scenarios: (1) scenario without human action (supposed in original condition), (2) the actual scenario of the basin, and (3) scenario with the basin fully occupied by agriculture and urbanization. The hydrological balance showed significant differences between the scenarios, mainly in the evapotranspiration and the runoff. The runoff showed an increase of 278% and 638% for scenarios 2 and 3 compared to scenario 1. The sedimentological balance was significantly altered by the different land uses in the scenarios, the sediment production showed an increase of 2.514% in scenario 2 e 6.471% in scenario 3, when compared to scenario 1. In summary, the simulations results showed the tendency to reduction of the lake useful life by sedimentation, which can be accelerated by different land uses. The model showed its potential for study of scenarios of soil occupation and its consequences, but still has to be properly calibrated and verified.

KEYWORDS: hydrosedimentological processes, SWAT, Capão Comprido stream Watershed.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Mapa hidrográfico do Distrito Federal (ADASA, 2011).</i>	20
<i>Figura 2 - Localização da área de estudo.</i>	33
<i>Figura 3 – Hidrografia da bacia do rio Descoberto (Fonte: ADASA, 2011).</i>	35
<i>Figura 4 – Layout do ArcGIS mostrando a construção do mapa de uso do solo.</i>	39
<i>Figura 6 – Curvas de nível, dentro da BHCC, espaçadas de 5 em 5 m.</i>	46
<i>Figura 7 – Modelo de elevação digital da BHCC.</i>	47
<i>Figura 8 – Rede hidrográfica da BHCC gerada pelo SWAT.</i>	48
<i>Figura 9 – Mapa das sub-bacias que compõem a BHCC juntamente com a rede hidrográfica.</i>	49
<i>Figura 10 – Mapa dos tipos de solo da BHCC.</i>	50
<i>Figura 11 – Mapa de declividade da BHCC.</i>	51
<i>Figura 12 – Mapa atual de uso e cobertura do solo da bacia do Capão Comprido.</i>	52
<i>Figura 13 - Imagens dos diferentes usos do solo da bacia do Córrego Capão Comprido e suas respectivas classificações (Fonte das imagens: Google Earth, registradas em 23 de abril de 2010).</i>	53
<i>Figura 14 - Precipitação total mensal entre os anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET 2011).</i>	55
<i>Figura 15 - Precipitação total nos anos simulados, 1991a 2008 (Fonte: INMET, 2011).</i>	55
<i>Figura 16 - Médias mensais de temperaturas mínimas e máximas correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET 2011).</i>	56
<i>Figura 17 - Médias anuais de temperaturas mínimas e máximas dos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).</i>	57
<i>Figura 18 - Médias mensais de radiação solar correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).</i>	58
<i>Figura 19 - Médias mensais de umidade relativa do ar, correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).</i>	59
<i>Figura 20 - Médias anuais de umidade relativa do ar referente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).</i>	60
<i>Figura 21 - Médias mensais de velocidade do vento, correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).</i>	60
<i>Figura 22 - Médias anuais de velocidade do vento, referente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).</i>	61
<i>Figura 23 – Curva-chave do córrego Capão Comprido.</i>	62
<i>Figura 24 – Comparação da vazão calculada pelo SWAT e observada diante da precipitação no período de 01de março de 2003 a 31 de dezembro de 2005.</i>	63
<i>Figura 25 – Mapa de uso e ocupação do solo no cenário 1.</i>	65
<i>Figura 26 – Mapa de uso e ocupação do solo no cenário 3.</i>	66
<i>Figura 27 - Respostas dos componentes do balanço hídrico em relação ao uso e ocupação do cenário 1.</i>	67
<i>Figura 28 - Respostas dos componentes do balanço hídrico em relação ao uso e ocupação do cenário 2.</i>	68

<i>Figura 29 - Respostas dos componentes do balanço hídrico em relação ao uso e ocupação do cenário 3.</i>	68
<i>Figura 30 - Resultado estatístico da evapotranspiração (média \pm desvio padrão da média) consoante a 18 anos de dados diários, obtidos nos diferentes cenários. $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey).</i>	69
<i>Figura 31 - Resultado estatístico da percolação (média \pm desvio padrão da média) consoante à 18 anos de dados diários, obtidos no diferentes cenários $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey).</i>	70
<i>Figura 32 - Comparação do escoamento superficial gerado pelos diferentes cenários.</i>	71
<i>Figura 33 - Escoamento superficial médio anual (18 anos/cenário), (média \pm desvio padrão), $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey).</i>	71
<i>Figura 34 - Comparação da vazão gerada pelos diferentes cenários na BHCC.</i>	72
<i>Figura 35 - Respostas dos componentes do balanço sedimentológico em relação ao uso e ocupação do cenário 1.</i>	73
<i>Figura 36 - Respostas dos componentes do balanço sedimentológico em relação ao uso e ocupação do cenário 2.</i>	73
<i>Figura 37 - Respostas dos componentes do balanço sedimentológico em relação ao uso e ocupação do cenário 3.</i>	74
<i>Figura 38 – Média de carga erodida (A) e de sedimentos (B) gerados por hectare na BHCC (média \pm desvio padrão), $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey), com base nos 18 anos de estudo.</i>	74
<i>Figura 39 – Carga total de erosão e sedimentos gerada na BHCC ao longo de 18 anos com o uso e ocupação do Cenário 1.</i>	75
<i>Figura 40 - Carga total de erosão e sedimentos gerada na BHCC ao longo de 18 anos com o uso e ocupação do Cenário 2.</i>	76
<i>Figura 41 - Carga total de erosão e sedimentos gerada na BHCC ao longo de 18 anos com o uso e ocupação do Cenário 3.</i>	76
<i>Figura 42 – Carga total erodida anualmente de acordo com os diferentes usos e ocupação do solo.</i>	78
<i>Figura 43 - Carga total de sedimentos gerados anualmente de acordo com os diferentes usos e ocupação do solo.</i>	78

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Tipos de solo e suas respectivas áreas ocupadas na BHCC.</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 2 – Distribuição das áreas de uso e cobertura do solo na BHCC.</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 3 - Descrição dos parâmetros e ranking de cada uma das variáveis após a realização da Análise de Sensibilidade do modelo SWAT.</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 4 – Distribuição das áreas do cenário 1</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 5 – Distribuição das áreas do cenário 3</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 6 – Cargas em toneladas de erosão e sedimentos produzidas na BHCC anualmente, de acordo com os diferentes cenários simulados.</i>	<i>77</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	- Área
AGNPS	- Agricultural Non-Point Source Pollution Model
Ahru	- Área da unidade de resposta hidrológica (ha)
Alpha_Bf	- Fator alfa do fluxo de base (dias)
ANA	- Agência Nacional de Águas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANOVA	- Análise de Variância
ANSWERS	- Distributed parameter hydrology model
APA	- Área de Proteção Ambiental
ARS	- Agricultural Research Service
BH	- Bacias Hidrográficas
BHCC	- Bacia Hidrográfica do córrego Capão Comprido
BHRD	- Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto
Biomix	- Eficiência da mistura biológica
Blai	- Índice máximo de área foliar
C	- Fator de cobertura e manejo
CAESB	- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
Canmx	- Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
CFRG	- Fator de fragmento grosseiro
Ch_K2	- Condutividade hidráulica efetiva do canal (mm/ano)
Ch_N2	- Coeficiente de Manning do canal principal
cm	- Centímetros
CN	- Curva Número
CXD-MC	- Cambissolo
DEM	- Modelo de Elevação Digital
DF	- Distrito Federal
Dm	- Declividade média
Dt	- Declividade total
EMATER	- Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
Embrapa	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Epcó	- Fator de compensação da retirada das plantas
Esco	- Fator de compensação da evaporação do solo
ESRI	- Environmental Systems Research Institute
ET	- Evapotranspiração
EUA	- Estados Unidos da América
EUPS	- Equação universal de Perdas do Solo
Flow_Out	- Vazão
FX	- Plintossolo
GO	- Goiás
Gw_Delay	- Retardo do escoamento subterrâneo
Gw_Revap	- Coeficiente de re-evaporação da água subterrânea
Gwqmn	- Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
h	- Altura da lâmina de água

ha	- Hectares
hab	- Habitantes
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K	- Fator de erodibilidade do solo
km	- Kilometros
km ²	- Kilometros quadrados
km ³	- Kilometros cúbicos
L	- Litros
LS	- Fator topográfico
LVAD-M	- Latossolo Vermelho Amarelo
LVD-M	- Latossolo Vermelho
m	- Metros
m ³ /s	- Metros cúbicos por segundo
MEUPS	- Equação Universal de Perda de Solos Modificada
mm	- Milímetros
MUSLE	- Equação Universal de Perda de Solos Modificada
N	- Nitrogênio
P	- Fósforo
Perc	- Percolação
PICAG	- Projeto Integrado de Colonização Alexandre de Gusmão - Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos
PTARH	Hídricos
Q	- Vazão
Qpico	- Vazão de pico (m ³ .s ⁻¹)
Qsup	- Volume de escoamento superficial (mm.ha ⁻¹)
Revapmn	- Profundidade de água limite no aquífero raso (mm)
SAD 69	- South American Datum 1969
SC	- Santa Catarina
SED	- Produção de sedimentos (ton.dia ⁻¹)
Sftmp	- Temperatura da neve (°C)
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
Slope	- Declividade média mais acentuada (mm/m)
Ssubbsn	- Comprimento da declividade média (m)
Smfmn	- Fator de derretimento da neve em dezembro (mmH ₂ O/°C/dia)
Sfmfx	- Fator de derretimento da neve em junho (mmH ₂ O/°C/dia)
Smtmp	- Temperatura de base para derretimento de neve (°C)
Sol_Alb	- Albedo do solo
Sol_Awc	- Capacidade de água disponível (mm H ₂ O / mm solo)
Sol_K	- Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
Sol_Z	- Profundidade do solo (mm)
Surlag	- Tempo de retardo do escoamento superficial
Surq	- Escoamento superficial
SWAT	- Soil and Water Assessment Tool

SWly,excess	- Volume drenável de água na camada de solo (mm)
SWRRB	- Simulator of Waters in rural basins
Syld	- Sedimentos
Timp	- Fator de retardo da temperatura do bloco de neve
Tlaps	- Taxa de variação da temperatura (°C/km)
ton	- Toneladas
Ttperc	- Tempo de propagação na camada do solo (horas)
UNESCO	- Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura
URH	- Unidades de resposta hidrológicas
USDA	- United States Department of Agriculture
USLE	- Universal Soil Loss Equation
WEPP	- Water Erosion Prediction Project
Wperc	- Quantidade de água que percola para a próxima camada (mm)
Δt	- Duração do passo de tempo (horas)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 A ÁGUA NO MUNDO, NO BRASIL E NO DISTRITO FEDERAL	19
3.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS	21
3.3 IMPACTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	23
3.3.1 <i>Erosão</i>	23
3.3.2 <i>Sedimentação</i>	24
3.3.3 <i>Poluição difusa</i>	25
3.4 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	27
3.5 MODELOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS	28
3.5.1 <i>SWAT</i>	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ENTORNO.....	33
4.1.1 <i>Localização geográfica</i>	33
4.1.2 <i>Solos</i>	34
4.1.3 <i>Clima</i>	34
4.1.4 <i>Hidrografia</i>	35
4.1.5 <i>Relevo</i>	36
4.1.6 <i>Principais usos do solo</i>	36
4.2 MODELO SWAT E CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS	37
4.2.1 <i>Construção da base de dados</i>	37
4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	41
4.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS.....	42
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
4.5.1 <i>Componentes do balanço hidrológico</i>	43
4.5.2 <i>Componentes do balanço sedimentológico</i>	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS.....	46
5.1.1 <i>Modelo de elevação digital</i>	46
5.1.2 <i>Hidrografia</i>	47
5.1.3 <i>Sub-bacias</i>	49
5.1.4 <i>Solo</i>	50
5.1.5 <i>Declividade</i>	51
5.1.6 <i>Uso do solo</i>	51
5.1.7 <i>Definição das unidades de respostas hidrológicas</i>	54

5.1.8 Dados climáticos.....	55
5.1.9 Vazão.....	61
5.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	63
5.3 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	65
5.3.1 Cenário 1.....	65
5.3.2 Cenário 2.....	66
5.3.3 Cenário 3.....	66
5.4 RESULTADOS GERADOS PELO SWAT NA SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS	67
5.4.1 Balanço hídrico.....	67
5.4.2 Balanço sedimentológico	72
6 CONCLUSÕES.....	80
7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICE A – Resultados médios anuais do balanço hidrológico gerados pelo SWAT, nos diferentes cenários	87
APÊNDICE B – Resultados anuais do balanço sedimentológico gerados pelo SWAT, nos diferentes cenários	89

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica de sedimentos em uma bacia hidrográfica é um aspecto de fundamental importância para qualquer programa de planejamento e gestão dos recursos hídricos. A produção, o transporte, a deposição e a compactação de sedimentos são resultados de processos hidrossedimentológicos que ocorrem naturalmente. Entretanto em bacias hidrográficas (BH), a intensificação do uso do solo em função do crescimento populacional e econômico associada a práticas agrícolas, acelera esses processos acarretando um aumento na quantidade carregada para o exutório de uma bacia. Isso acaba gerando problemas sociais, econômicos e ambientais, causando o assoreamento de corpos d'água e prejudicando os setores de abastecimento urbano e industrial, irrigação, aquíicultura, setor elétrico, entre outros.

O Distrito Federal – DF foi criado dentro do bioma cerrado, na região mais alta do planalto central, nas nascentes de cursos de água de três regiões hidrográficas brasileiras: do Paraná, São Francisco e Araguaia/Tocantins. Porém, atualmente o DF, está incluído entre as cinco unidades da federação com menor disponibilidade hídrica per capita.

Estudos têm sido desenvolvidos para caracterização dos processos hidrossedimentológicos em áreas de Cerrado com base no monitoramento de bacias hidrográficas. Parte das pesquisas realizadas, principalmente pela Universidade de Brasília, tem seu locus na bacia hidrográfica do rio Descoberto (BHRD), localizada no DF e no estado de Goiás - GO. A bacia situa-se no oeste do DF e abrange as cidades satélites de Ceilândia, Brazlândia, Taguatinga e parte de Samambaia, além de regiões administrativas do Recanto das Emas e do Gama, no DF, incluindo também, as cidades de Águas Lindas de Goiás e Padre Bernardo, no estado de Goiás.

Atualmente, 63% do abastecimento público de água do DF é proveniente da BHRD, que é uma Área de Proteção Ambiental – APA – criada com o objetivo de “proporcionar o bem-estar futuro das populações do Distrito Federal e de parte do Estado de Goiás, bem como assegurar condições ecológicas satisfatórias às represas da região” (Brasil, Decreto 88.940, 1983).

A bacia hidrográfica do córrego Capão Comprido - BHCC - uma sub-bacia da BHRD, possui uma área de aproximadamente 16,6 km² e deságua diretamente no lago do Descoberto. A área está incluída no Projeto Integrado de Colonização Alexandre Gusmão, que foi criado com a finalidade de abastecer o Distrito Federal com a produção de hortaliças. Têm-se ainda, a ocupação urbana e o crescimento contínuo de novos núcleos urbanos na região, ocasionando um forte impacto ambiental. Por conseguinte, o conhecimento da complexidade dos

fenômenos envolvidos nos processos hidrossedimentológicos é determinante e imprescindível para gerar conhecimento sobre as melhores opções de uso e manejo do solo.

Uma das ferramentas tecnológicas utilizadas como suporte para análise ambiental e para o gerenciamento de recursos hídricos são os modelos hidrossedimentológicos computacionais. Com eles é possível prever as consequências de diferentes alternativas de uso e manejo da bacia prevendo-se os impactos e otimizando os custos de gerenciamento.

Dentre os variados programas computacionais utilizados na modelagem de BH tem-se o SWAT - Soil and Water Assessment Tool -, desenvolvido pelo Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture (ARS/USDA), de acesso livre, que possibilita a análise dos efeitos decorrentes dos diferentes usos e manejo do solo, especialmente no que concerne às práticas agrícolas, em bacias hidrográficas (Neitsch *et al.*, 2005).

A modelagem computacional realizada no presente estudo teve como meta estudar a produção de sedimentos na bacia do córrego Capão Comprido, pela aplicação do SWAT, com finalidade de conhecer a relação entre os diferentes usos, cobertura e características geomorfológicas com os processos hidrossedimentológicos da bacia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a dinâmica da água e da produção de sedimentos por meio de estimativas geradas pelo modelo SWAT para a bacia hidrográfica do córrego Capão Comprido no Distrito Federal, com base em diferentes cenários de usos e ocupação do solo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reunir e gerar informações para a caracterização da área de estudo;
- Classificar imagens de satélite, objetivando elaborar o mapa atual de uso e cobertura do solo da bacia;
- Construir um banco de dados da bacia hidrográfica com base em séries temporais de precipitação, vazão, radiação solar, umidade relativa do ar, temperaturas máximas e mínimas, velocidade do vento, modelo de elevação digital, mapas de solo e de uso do solo;
- Aplicar o modelo SWAT;
- Realizar análise de sensibilidade do modelo SWAT em relação aos mais relevantes parâmetros;
- Simular três diferentes cenários de uso do solo para analisar e comparar a dinâmica do balanço hídrico, da erosão e da produção de sedimentos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ÁGUA NO MUNDO, NO BRASIL E NO DISTRITO FEDERAL

Os volumes de água armazenados nos rios e nos lagos de água doce no mundo somam apenas cerca de 200.000 km³. Esses mananciais são os mais acessíveis e utilizados para atendimento das necessidades sociais e econômicas da humanidade, e são absolutamente vitais aos ecossistemas (Cecílio & Reis, 2006).

O World Resources Institute (1998) apresenta dados que mostram que o ciclo das águas proporciona descargas de água doce nos rios do mundo estimada em 41.000 km³/ano, enquanto as demandas estimadas no ano de 2000, por exemplo, atingiram aproximadamente 11% desse potencial. Porém, este volume de água não é distribuído em mesmas quantidades durante todo o ano. Nos períodos de estiagem as disponibilidades caem drasticamente, não havendo, em alguns casos, água suficiente para todos os usos. Soma-se a esses problemas, o fato de a poluição hídrica fazer com que a água de muitos rios ou lagos seja inutilizável para seus fins mais nobres, isto é, para o consumo humano, uso na agricultura e indústria.

Segundo Raven *et al.* (2008) e UNESCO (2011), o principal usuário de água no mundo é o setor agrícola, destinando-se a irrigação, 68,3% do total. O uso doméstico chegando a apenas 8,6% da demanda total e o restante é empregado pelo setor industrial. O uso doméstico não é uniforme, pois 4% da população mundial utilizam mais de 300 litros diários per capita, enquanto 75% utilizam menos de 50 litros diários per capita (Pereira, 2004).

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2007) a irrigação também é responsável pela maior parcela das águas, chegando a 56% do total, semelhante a países pouco industrializados. Já o uso doméstico ocupa 26% desse total.

No DF, a agricultura, similarmente ao cenário médio mundial, apresenta uma demanda hídrica de 65,8% do consumo de água (Emater/DF, 2011). O índice de consumo de água pela população no uso doméstico, mesmo superior é mais semelhante ao cenário nacional, aproximadamente 33% do total (Adasa, 2011). Segundo a CAESB (2011), 99% da população do DF é atendida com abastecimento de água potável, ou seja, numa população urbana de 2.562.963 habitantes (IBGE, 2010) com uma demanda de 280 L/hab.dia (Caesb, 2011) o consumo humano tende a ser maior que as demais unidades da federação. Existem áreas com consumos bastante diferenciados, como é o caso de Lago Norte, Lago Sul e Park Way, com

consumos na ordem de 400 a 500 L/hab.dia, e outras áreas com consumos na ordem de 100 a 150 L/hab.dia.

O DF está inserido nas regiões hidrográficas brasileiras do São Francisco, Paraná e Tocantins/Araguaia, situado na região de cabeceiras dos rios

[...] felizmente, a nova capital do Brazil poderá ser abastecida com um volume d'água potavel muito superior áquella (refere-se a cidade de Paris) e sem que se tornem necessarias obras de arte de grande custeio. O systema hydrographico da zona demarcada é com effeito de uma riqueza tal que qualquer que seja o logar escolhido para edificação da futura capital, encontrar-se-há, sem grandes difficuldades, agua sufficiente para abastecê-la a razão de 1000 litros diarios por habitante (Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil, relatório Cruis, p.109, 1894).

Isso era dito, sendo que a cidade foi projetada para habitar de 500 a 600 mil residentes (Novacap, 2011). Por sua localização, o DF, apresenta uma disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade, porém atualmente, relativamente escassa, devido ao aumento populacional de aproximadamente 2 milhões de pessoas, além do planejado, até os dias de hoje .

O mapa hidrográfico do DF (Figura 1) apresenta a localização das bacias hidrográficas do DF inseridas nas três diferentes regiões hidrográficas brasileiras.

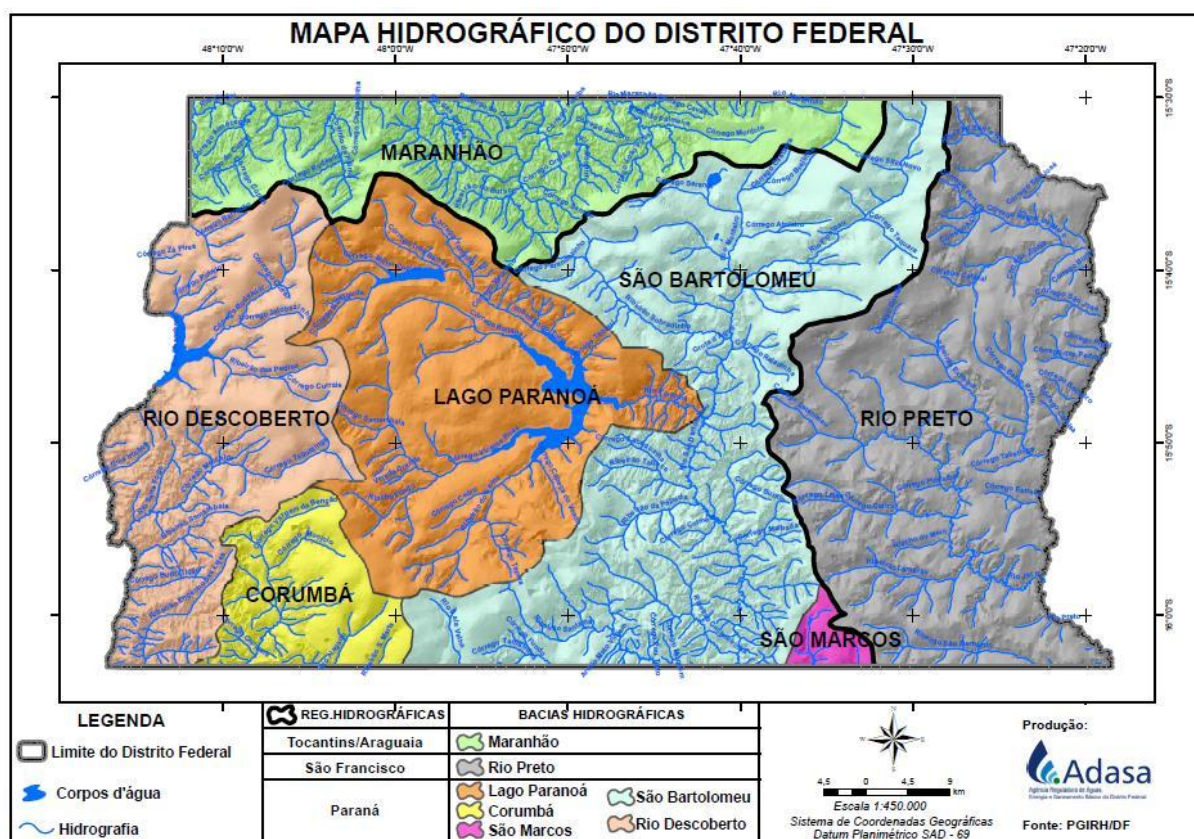


Figura 1 – Mapa hidrográfico do Distrito Federal (ADASA, 2011).

Na região central do DF, a bacia do Lago Paranoá, além de outras funções, como geração de energia, lazer, cumpre a de corpo receptor de esgotos. As suas margens situam-se duas estações de tratamento em nível terciário que controlam os resíduos líquidos sanitários da Asa Sul e Asa Norte e evitam a eutrofização de suas águas. Na parte superior da bacia do Lago Paranoá, região Norte, existem duas captações localizadas dentro do Parque Nacional de Brasília: a do Santa Maria e a do Torto (Christofidis, 2005)

Na região Centro-Leste do DF ocorre a bacia do Rio São Bartolomeu. Nas regiões de cabeceiras desse rio a Caesb efetuou, recentemente, o aproveitamento de um dos seus formadores, o Rio Pipiripau (CAESB, 2011). Ao Norte ocorre a bacia do Rio Maranhão e a Leste a do Rio Preto, ambas com pequena utilização para abastecimento humano na área do DF. Existem também, sistemas de abastecimento de água utilizando mananciais de água subterrânea, dos quais merecem, destaque os da área de São Sebastião cujos poços têm apresentado vazões elevadas.

O principal manancial do Distrito Federal é o lago do Descoberto, responsável pelo abastecimento de 63% de água à população. O lago resulta do barramento do rio de mesmo nome, na divisa entre o Distrito Federal e Goiás. A maior parte da BHRD, cerca de 70%, localiza-se no Distrito Federal. Um dos problemas enfrentado no gerenciamento do manancial de superfície do Descoberto é que existem áreas que pertencem à bacia, mas situam-se fora da área de proteção ambiental (APA). Ainda, a oeste do lago Descoberto situa-se o estado de Goiás, onde inexistia atividade urbana em 1986, mas atualmente existe uma cidade, Águas Lindas de Goiás, onde cerca de 20 mil residem em áreas da BHRD. Assim, umas das dificuldades para o gerenciamento do lago é que esse município localiza-se em outro estado da federação.

Existem projeções de possível falta de água potável no DF, por meio dos sistemas existentes, no atendimento à população, exigindo antecipação de providências para evitar situações críticas emergenciais. E a manutenção do lago do Descoberto com águas de boa qualidade para atendimento ao DF é fundamental.

3.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Uma bacia hidrográfica é um sistema que integra as conformações de relevo e drenagem. A parcela da chuva que incide sobre a área da bacia e que se transforma em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva, escoar a partir das maiores elevações do

terreno, formando enxurradas em direção aos vales. Esses, por sua vez, concentram esse escoamento em córregos, riachos e ribeirões, os quais confluem e formam o rio principal da bacia.

Segundo Kobiyama (1999), a bacia hidrográfica é definida como uma região, na qual o escoamento superficial em qualquer ponto converge para um único ponto fixo, chamado exutório. O Fluxo de matérias como solo, água, nutrientes e poluentes, ocorre dentro dos contornos da bacia, em uma dinâmica estabelecida pelo comportamento da água nesta unidade. O autor enfatiza que a bacia hidrográfica é a unidade ideal (ótima) para o gerenciamento integrado dos recursos naturais. Como artifício, pode-se subdividir uma bacia hidrográfica em unidades menores (sub-bacias) em função de variadas características tais como: potencialidade, fragilidades, acertos e conflitos centrados na área. Pode-se também, setorizar a bacia de acordo com um critério estabelecido, cujos limites podem ou não coincidir com os limites das sub-bacias componentes da área de estudo (Santos, 2004).

A definição de uma área de estudo ou planejamento é uma tarefa complexa, não só pela dificuldade em delimitar a área de contenção de impactos, de pressões ou fenômenos, como, também, pela variedade de escalas necessárias para avaliação dos objetivos. Porém, independentemente desses fatores de influência sobre o meio, é comum que se defina a bacia hidrográfica (um espaço moldado pela natureza) como unidade de trabalho (Santos, 2004).

O processo de ocupação humana nas bacias hidrográficas traz em si atividades que implicam na modificação das formas de uso do solo: transformação de florestas em áreas agrícolas e urbanas, transformação de regiões áridas pela irrigação em agrícolas, criação de zonas industriais onde se concentram processos que resultam na emissão de gases, aterramento de extensões lacustres e litorâneas (Muller, 1995).

O desmatamento seguido da conversão de terras desmatadas em agricultura e a erosão dessas áreas agrícolas são os principais problemas de poluição difusa em países tropicais e semitropicais em desenvolvimento. A conversão de uso do solo pode aumentar em grande escala a produção de sedimentos em bacias hidrográficas e também pode acarretar em modificações na composição química do solo, que podem levar à perda significativa de nutrientes, alterando também a qualidade e quantidade de água (Novotny e Olem, 1993 apud Mansor, 2005).

3.3 IMPACTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

3.3.1 Erosão

A erosão é um processo natural que pode ser intensificado devido, principalmente, a agentes antrópicos. Segundo Mota (1995), as práticas agrícolas inadequadas, a ocupação incorreta das áreas, alterações no escoamento natural das águas, movimentos de terra e impermeabilizações de terrenos são as principais causas da erosão acelerada.

Atualmente, a taxa de erosão do solo excede a sua taxa de formação, resultando no esgotamento dos recursos do solo e diminuição do potencial produtivo (Toy *et al.*, 2001, apud Avila, 2005).

Oliveira e Lima (2002) consideram como principais fontes de contaminação de recursos hídricos do cerrado relacionados à atividade agrícola, a erosão e o uso de corretivos agrícolas e agrotóxicos. A mobilidade desses elementos, além de fatores intrínsecos aos próprios elementos, depende principalmente de precipitação, topografia, textura e teor de matéria orgânica do solo.

A erosão hídrica, causada pela precipitação e pelo escoamento superficial, inclui os processos de impacto, desagregação, transporte e deposição das partículas (Avila, 2005)

Ao impactarem no solo, as gotas de água da chuva destroem os agregados, causando o desprendimento das partículas de solo. Após, as mesmas passam a serem transportadas. E de acordo com (Toy *et al.*, 2001, apud Avila, 2005), as partículas de solo, uma vez em movimento são chamadas de sedimentos.

Segundo Galetti (1979), durante a fase de transporte, é possível observar que as partículas menores são levadas em solução, as partículas médias são transportadas em suspensão e as partículas mais grosseiras são arrastadas ou roladas.

Se a capacidade de transporte cai abruptamente ou, a carga de sedimentos torna-se maior que a capacidade de transporte, dá-se início à fase de deposição (Toy *et al.*, 2001, apud Avila, 2005)..

A erosão hídrica pode ser dividida em três tipos, sendo elas, a erosão laminar, a erosão em sulcos e a erosão em voçorocas. A erosão laminar é a menos perceptível e por essa razão, pode ser a mais perigosa, consistindo na remoção de uma camada fina da superfície do solo sobre toda área. A erosão em sulcos é resultante da concentração do escoamento em alguns trechos do terreno, dessa forma a água percorre caminhos preferenciais, gerando o desgaste o

solo em faixas estreitas dirigidas ao longo do terreno. Já a erosão em voçorocas é ocasionada por grandes volumes de água que passam, ano após ano, no mesmo sulco que, por consequência, vai-se ampliando, formando grandes cavidades em extensão e profundidade (Avila, 2005)

Segundo Lino (2009) o fenômeno da erosão depende de vários fatores, sendo os principais: intensidade e duração das chuvas; estrutura, composição geológica do terreno e propriedades do solo; declividade do terreno e extensão do declive; cobertura vegetal; e tipo de uso e cobertura do solo.

Toy et al., 2001, apud Avila, 2005, designa que a erosão causada pela precipitação ocorre com a gota da chuva caindo no solo e com o fluxo de água na superfície. O volume e a velocidade do escoamento são principalmente implicados pela intensidade da precipitação. No entanto a topografia, principalmente sob a forma de declividade e comprimento da rampa do terreno, também exercem grande influência sobre a quantidade de material erodido. Já a cobertura vegetal é a proteção natural do terreno, onde o nível dessa proteção depende diretamente, do tipo de vegetação e do estágio de desenvolvimento da planta. Os tipos de solo também podem influenciar os processos de erosão, pois alguns são naturalmente mais suscetíveis a erosão que outros, isto está relacionado, principalmente, às características como textura, permeabilidade e profundidade do solo.

O transporte de sedimentos é um fenômeno natural e faz parte da evolução da paisagem, originando as geoformas, entre outros fatores, pelos processos de erosão e deposição de sedimentos. Porém, as atividades humanas interferem profundamente nesses processos, podendo elevar em até 100 vezes os processos erosivos naturais, o que pode acontecer tanto devido a práticas agrícolas ou a obras de engenharia (Araújo *et al.*, 2003, apud Bicalho, 2006).

3.3.2 Sedimentação

Os cursos d'água são os grandes receptores dos sedimentos provenientes da erosão dos solos, e.g., mudanças na quantidade de descarga sólida provoca respostas nos canais d'água conforme as alterações ocorridas e a capacidade de transporte do escoamento, pois o aumento da carga sólida provocará um aumento na tendência de formações de depósitos no leito dos canais (Carvalho & Cunha, 1997).

Segundo Lino (2009), os sedimentos podem ocasionar assoreamento e obstrução dos cursos d'água, provocando a redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios. Influenciando diretamente, na qualidade de água, alterando, principalmente a sua turbidez, e contribuindo para a elevação do custo do tratamento da mesma. Além de que, o solo carregado pode conter produtos químicos, como pesticidas e fertilizantes, os quais vão causar a poluição da água, causando problemas ecológicos ao ambiente aquático.

3.3.3 Poluição difusa

Define-se como poluição difusa os poluentes que chegam aos corpos d'água distribuídos ao longo de parte da sua extensão. Um exemplo é a poluição veiculada pela drenagem pluvial, a qual é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída, e não concentrada em um único ponto. Já na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo hídrico de forma concentrada no espaço, como por exemplo, a descarga de um emissário de esgotos ou galerias de drenagem urbana (Fragoso, 2007).

De acordo com Thomann & Mueller (1987), as principais fontes não pontuais de poluição são: agricultura, atmosfera, escoamento urbano e águas subterrâneas. Em cada caso não é possível relacionar a descarga a um local específico bem definido. A poluição difusa pode entrar em um dado rio ou lago via escoamento superficial como no caso da agricultura ou através da superfície do terreno, ou ainda através da água devido à fonte atmosférica.

A ocupação e o manejo do solo, os quais estão associados às interações solo-água-nutriente e às condições climáticas, topográficas, pedológicas e geológicas locais, estão intimamente ligados à magnitude das contribuições de fontes difusas de nutrientes em uma bacia hidrográfica de ocupação agrícola (Rossi Pisa *et al.*, 1999).

Em suma, nas atividades agrícolas, o aporte de cargas efluentes se dá de forma distribuída ao longo da bacia, em função da técnica de manejo utilizada, da ocorrência de escoamento superficial e lixiviação. O escoamento superficial é responsável pelo arraste do material sólido erodido e material dissolvido até a rede de drenagem. A quantidade desse material arrastado é função da sua disponibilidade no solo, o que dificulta tanto o monitoramento como a quantificação das cargas difusas em bacias rurais. Porém, a determinação das cargas difusas é um fator essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas rurais (Reis *et al.*, 2005).

A poluição de fonte não-pontual é um importante problema ambiental e de gerenciamento da qualidade e quantidade da água. Tentativas de proteção da bacia são estratégias essenciais, que permitem a restauração dos ecossistemas aquáticos e a proteção da saúde humana (Novotny, 1999).

Ao atingirem os corpos aquáticos, os sedimentos provenientes de áreas agrícolas, podem ocasionar o assoreamento desses sistemas. Tendo em vista que o Brasil possui um grande número de reservatórios artificiais para os diversos usos, as cargas de sedimentos podem diminuir o tempo de vida útil das represas. Leite e Espíndola (2004), apud, Minoti (2006), estudando o reservatório de Salto Grande (Americana/SP), mensurou a sedimentação bruta na região à montante do reservatório, obtendo o valor de 72,87 kg/m².ano.

Filizola et al. (2002), apud, Minoti (2006) realizaram o monitoramento e a avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região do município de Guaíra, interior de São Paulo, onde extensas áreas são ocupadas por agricultura intensiva. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que não houve contaminação da água subterrânea, mas, ocasionalmente houve contaminação direta das águas de superfície.

O planejamento da ocupação de bacias hidrográficas visando o desenvolvimento sustentável é condicionado por um grande número de variáveis, que estão relacionadas de forma bastante complexa. Em consequência deste fato, torna-se difícil análise, sobre os impactos nos fenômenos hidrossedimentológicos decorrentes da ocupação humana nestas bacias hidrográficas. Nesses casos costuma-se recorrer a estudos de cenários alternativos que correspondam a combinações consistentes das variáveis mais relevantes (Seplantec, 1995).

Muitos estudos estão sendo desenvolvidos visando conhecer o comportamento dos poluentes agrícolas e indicar as melhores práticas de manejo para redução da poluição difusa causada pela agricultura, como por exemplo, Souza (1990), estudou a bacia do rio Corumbá, no DF, e destacou que o perigo de eutrofização dos lagos é o principal fator limitante ao desenvolvimento regional, uma vez que a eutrofização é provocada por atividades agropecuárias, principal fator de crescimento econômico da região. E destacou, ainda, que mais de 85% dos sólidos transportados provém da atividade agrícola. Enquanto Avila (2005) conduziu um estudo na bacia do Capão Comprido, visando relacionar a contribuição de nitrogênio, fósforo e sedimentos a corpos hídricos com o manejo da área. Os dados revelaram uma grande variabilidade dos valores das concentrações de todos os parâmetros (nitritos, nitratos, nitrogênio amoniacal, ortofosfato, fósforo total, sólidos suspensos, sólidos totais e dissolvidos), concluindo que a perda de nutrientes é influenciada pelos tipos de uso e ocupação do solo.

Uma forma de avaliar a geração e transporte de sedimentos de origem difusa, seria estabelecer uma ampla rede de monitoramento. Contudo, as fontes de poluição difusa não podem ser monitoradas nos pontos de lançamento e estes são difíceis de serem localizados. Porém, como alternativa, a utilização de modelos matemáticos constitui uma das melhores alternativas para a análise de problemáticas aos impactos dos diferentes usos e manejo do solo nos recursos hídricos, contribuindo com o aprimoramento do manejo de bacias hidrográficas. (De Vito, 2007).

3.4 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O mapeamento e localização das águas superficiais e subterrâneas, com destaque para bacias e redes hidrográficas, e a identificação em meio cartográfico da quantidade e qualidade da água, dos pontos de vulnerabilidade da interação água e atividade humana, são ações fundamentais na gerência eficiente dos corpos hídricos (Baldissera, 2005)

O geoprocessamento aqui entendido está representado pela integração de imagens digitais de diversificados sensores remotos com Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Isso, entretanto, constitui apenas um primeiro nível de integração relevante à hidrologia e aos recursos hídricos. A integração última está na união do geoprocessamento com os modelos que busquem uma melhor compreensão de fenômenos edafoclimáticos e a gestão de recursos hídricos (Ávila *et al.*, 1999).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) se inserem como uma ferramenta que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões de uma forma eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (imagens de satélite, modelos de elevação digital, mapas topográficos, mapas de solos, mapas de uso de solo, hidrografia, etc.) e em diferentes escalas. Os resultados destas manipulações, geralmente são apresentados sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

O SIG é uma tecnologia que tem sido desenvolvida para lidar com informações espaciais e tem muitas aplicações ambientais, sociais e econômicas. Eles são idealmente adequados para combinar informações topográficas, de solos, uso da terra e meteorológicas para pequenas áreas inseridas em bacias hidrográficas, onde é possível visualizar cenários passados, atuais e simular futuros (Grigg, 1996).

3.5 MODELOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS

Segundo Mendes (1996), modelos hidrossedimentológicos lidam com fenômenos contínuos e dinâmicos, enquanto os SIGs tratam apenas de dados estáticos e discretos. Na hidrologia os sistemas a serem representados espacialmente são bacias, aquíferos, rios, canais, lagos, etc. No campo conceitual a análise é feita através da simulação do movimento da água e de seus constituintes, usando equações que representam leis físicas.

Os fenômenos naturais são de grande complexidade, dificultando estudos para sua compreensão, pela impossibilidade de medir e percorrer todas as suas partes ou etapas. Uma abordagem básica destes fenômenos, apenas para compreendê-los fisicamente e de forma genérica, torna necessária a utilização de leis empíricas e de hipóteses, o que requer a aplicação da modelagem (Kobiyama & Manfroi, 1999).

Modelos matemáticos podem ser usados para estabelecer conhecimentos sobre os sistemas ambientais, para testar hipóteses, ou mesmo permitir o desenvolvimento de métodos para prever o manejo desses ecossistemas (Grayson *et al.*, 1992)

Os modelos matemáticos são os que representam a natureza do sistema através de equações matemáticas. Estes modelos são mais versáteis, porque se pode facilmente modificar a sua lógica, obtendo-se resultados de diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas, além da grande velocidade de resposta. A desvantagem deste tipo de modelo está na discretização de processos contínuos e na dificuldade de representar matematicamente alguns processos físicos. Em determinadas áreas de estudo, ainda não existem funções matemáticas que representem convincentemente certos fenômenos físicos. Kobiyama & Manfroi (1999) ressaltam que o modelo matemático possui várias vantagens, como, facilidade de execução, baixo custo e rápida obtenção dos resultados, permitindo a simulação de experimentos inviáveis na prática e facilitam a previsão de fenômenos e processos naturais, possibilitando a elaboração, inclusive de estudos de impacto ambiental.

A principal vantagem da aplicação de modelos reside na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes e de forma rápida, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais. Outra importante vantagem da utilização de simulação de cenários está associada ao seu baixo custo. Na maioria das aplicações, o custo de executar um programa computacional são ordens de magnitude menor do que o correspondente custo relativo à investigação experimental. Esse fator adquire maior importância à medida que o problema real estudado apresenta maiores dimensões e complexidade, como em uma bacia hidrográfica,

além dos custos operacionais mais elevados relativos às pesquisas de campo (Pessoa *et al.*, 1997).

Vários modelos de parâmetro distribuídos – ANSWERS (Distributed Parameter Hydrology Model), AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model), WEPP (Water Erosion Prediction Project), SWRRB (Simulator of Waters in Rural Basins) e SWAT (Soil and Water Assessment Tool) – têm sido utilizados no Brasil e no mundo para prever o escoamento superficial, a erosão e o transporte de sedimentos e nutrientes de bacias hidrográficas agrícolas submetidas a diferentes manejos. Entre esses modelos, o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) é o mais recente, utilizado com sucesso na simulação do escoamento, das cargas de sedimentos e da qualidade da água de bacias hidrográficas (Tripathi *et al.*, 2003, apud, Minoti, 2006).

Garrido (2003) ao analisar diversos modelos de simulação hidrológica, concluiu que SWAT mostrou-se o mais completo em termos de número de componentes simulados, representando uma vantagem do modelo, possibilitando a análise de cenários de diversas situações climáticas, uso da terra, aplicação de fertilizantes e pesticidas, implantação de reservatórios, etc.

3.5.1 SWAT

O modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) é um simulador desenvolvido pelo Serviço de Pesquisas Agrícolas (Agricultural Research Service - ARS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA - United States Department of Agriculture), representado por vários modelos matemáticos fundamentados no conhecimento das características físicas de bacias hidrográficas agrícolas (Neitsh *et al.*, 2005).

O SWAT é um modelo matemático de parâmetros distribuído e contínuo que permite diferentes processos físicos em bacias hidrográficas com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, incluindo a geração de estimativas relacionadas à produção de sedimentos em bacias hidrográficas agrícolas (Srinivasan *et al.*, 1994).

O modelo foi desenvolvido para estimar os impactos das práticas de manejo sobre o balanço hídrico, produção de sedimentos e agroquímicos em grandes bacias que variam os solos, o uso e cobertura dos solos, declividade e as condições de manejo durante um longo período de tempo (Neitsch *et al.*, 2005). Considera a bacia dividida em sub-bacias com base

no relevo, solos e uso da terra. Desse modo, preserva os parâmetros espacialmente distribuídos por toda BH.

O SWAT prediz o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacias hidrográficas agrícolas (Srinivasan, *et al.*, 1994). Muitos trabalhos foram desenvolvidos tomando-se como base o modelo SWAT, visto a importância da modelagem hidrossedimentológica no contexto mundial e nacional. Alguns destes estão brevemente apresentados aqui neste trabalho e ajudaram no entendimento do tema para o desenvolvimento de tal.

Mishra *et al.* (2007, apud Lino, 2009) simularam a vazão e a quantidade de sedimentos através do SWAT na bacia denominada Banha, no distrito de Jharkhand, localizada no nordeste da Índia, com a intenção de auxiliar as tomadas de decisão e conseqüentemente o planejamento dos recursos hídricos das bacias hidrográficas. Tendo como base as sub-bacias e seus respectivos usos do solo, os autores compararam os parâmetros chuva, vazão e sedimentos entre si através do método de análise de regressão. Concluíram que as bacias que possuem maiores porcentagens de área com mata nativa obtiveram maior controle sobre a vazão e sedimentos e, assim, possuem melhor proteção contra a erosão. Sub-bacias contendo largas áreas de cultivo de arroz (base do trabalho realizado) possuem baixa taxa de infiltração, geram elevados valores de vazão e de perdas de solo e nutrientes. Para se ter uma noção de valores envolvidos neste trabalho, uma bacia com um total de 4.271 km² e com extensa área de vegetação nativa produziu em média 0,26 t.ha⁻¹.ano⁻¹ enquanto que outra bacia com área de 5.577 km² e extenso cultivo de arroz produziu em média 8,98 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Portanto, as simulações através do SWAT mostraram que existe uma forte relação entre as características da bacia e os usos nelas realizados com os valores de vazão e de perda de solo.

A perda de solo também foi estudada por Irvem *et al.* (2007, apud Lino, 2009). Segundo os autores, o estudo teve a intenção de identificar espacialmente a perda de solo anual na bacia hidrográfica do rio Seyhan, na Turquia. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi utilizado para gerar os mapas dos fatores da EUPS – Equação universal de Perdas do Solo (USLE - *Universal Soil Loss Equation*, em inglês), sendo que este estima a erosão bruta anual média em função da energia da precipitação, do manejo, dos usos do solo, do tipo do solo e do relevo. A estimativa da perda de solo na bacia só foi possível graças a integração de todos os fatores do USLE ao SIG. A produção média anual estimada de sedimentos foi de 16,38 t.ha⁻¹.ano⁻¹. A distribuição espacial da perda de solo estimada foi: 61,03% muito baixo, 8,76% baixo, 23,52% moderado, 4,03% alto e 1,70% muito alto. Com base nestes resultados, as estimativas ajudam a identificar as regiões mais suscetíveis à erosão hídrica e, portanto,

auxilia no planejamento conservacionista e ambiental e na tomada de decisão na bacia hidrográfica.

Fohrer *et al.* (1999) aplicaram o SWAT a dois distintos cenários de uso e ocupação do solo para uma região da Alemanha, afim de simular o efeito sobre o balanço hídrico. Em comparação com outros estudos feitos na região com a utilização de outros modelos e o uso dos mesmos cenários, os resultados encontrados foram satisfatórios.

Machado (2002) aplicou o SWAT para simular o escoamento e a produção de sedimentos produzidos no biênio 1999/2000 na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, afluente do rio Piracicaba, localizado no estado de São Paulo. Machado verificou uma redução de 84,4% na produção de sedimentos com a substituição da pastagem por vegetação nativa.

Minoti (2006) abordou dados qualitativos e quantitativos de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi-Superior em São Paulo e testou métodos de caracterização e análise ambiental, enfatizando o manejo dos recursos solo e água, pela utilização de ferramentas computacionais de simulação, que possibilitassem estimar o potencial natural de perda de solos da área de estudo, estimar o balanço hídrico, identificar áreas com risco ambiental, elaborando, também, diferentes cenários ambientais para a área em função de diferentes usos do solo. O valor total da carga de sedimentos, simulado pelo SWAT, foi de 54.5 t.ano⁻¹, no cenário atual e 88. t.ano⁻¹, se o uso do solo fosse substituído apenas por plantações de cana de açúcar.

Neves *et al.* (2006) aplicaram o SWAT na avaliação do aporte de nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais da microbacia de 223 km² do Rio Bonito, em Descalvado, no estado de São Paulo, sendo que esta bacia apresenta grande atividade avícola. Os resultados apresentaram um aporte de até 50.263,66 kg/ano de N e 23.680,06 kg/ano de P aos mananciais da bacia, oriundos de uma única sub bacia, para um período de 12 anos de simulação.

Maluta (2010) realizou a aplicação do modelo SWAT na bacia do Rio Negrinho, localizada no estado de Santa Catarina, também, tendo como objetivo analisar espacialmente os processos hidrossedimentológicos na bacia. Ao final do estudo, observou que os meses de maior precipitação também tiveram as maiores estimativas de escoamento total e de produção de sedimentos, ao contrario do que acontecia em meses de menor escoamento onde estimava menores cargas de sedimentos.

A análise da dinâmica hidrossedimentologica da bacia hidrográfica do Rio Preto, localizada também no estado de Santa Catarina, utilizando o modelo SWAT, foi estudada por

Lino (2009), onde foram observadas as simulações do escoamento superficial e da produção de sedimentos em diferentes cenários de uso do solo. O autor observou que o cenário de uso agrícola apresentou maior escoamento superficial e produção de sedimentos. Ainda, o maior impacto na redução do escoamento superficial e da produção de sedimentos foi obtido pela substituição do uso e cobertura atual do solo pela mata nativa. A maior diferença encontrada foi entre o cenário agrícola e o cenário de mata nativa tanto nas simulações de escoamento superficial anual que apresentou uma diferença de 118,17 mm, quanto para a produção de sedimentos que foi constatada uma diferença de 36,28 ton.ha⁻¹.

Paim & Menezes (2009), estudaram a estimativa do balanço sedimentar da bacia do rio Tijucas (SC) a partir do modelo SWAT, onde a média para os 10 anos de modelagem variou de 0,5 ton/ha a 9,0 ton/ha entre as microbacias.

As informações utilizadas no presente trabalho, para efeito comparativo, foram encontradas, basicamente, na literatura científica. A maior parte dos trabalhos disponíveis relacionou-se aos processos erosivos devido à alteração do uso do solo a diferentes áreas da bacia ou diferentes cenários.

. A avaliação quantitativa da perda de solo por erosão, da perda de água e das cargas de sedimentos que atingem os corpos d'água é fundamental para o planejamento ambiental em escala de bacia hidrográfica contribuindo para o processo de tomada de decisão relacionado às melhores opções de manejo do solo e à manutenção da qualidade da água (Minoti, 2006)

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho de pesquisa foi realizado na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, em colaboração com o Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos - PTARH do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. O trabalho foi realizado no 1º semestre de 2011 (11 de janeiro a 1º de junho).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ENTORNO

4.1.1 Localização geográfica

O Distrito Federal está situado no Planalto Central do Brasil, dentro de um quadrilátero de 5.814 km², limitado ao norte pelo paralelo 15°30'S, ao sul pelo paralelo 16°03'S, a leste pelo rio Preto e a oeste pelo rio Descoberto

A bacia do Descoberto, na seção de saída do DF, apresenta uma área aproximada de 435 km². Este estudo foi desenvolvido na bacia do córrego Capão Comprido, uma sub-bacia que compõe a bacia do rio Descoberto e está localizada na porção ocidental do Distrito Federal, como meramente ilustra a Figura 2.

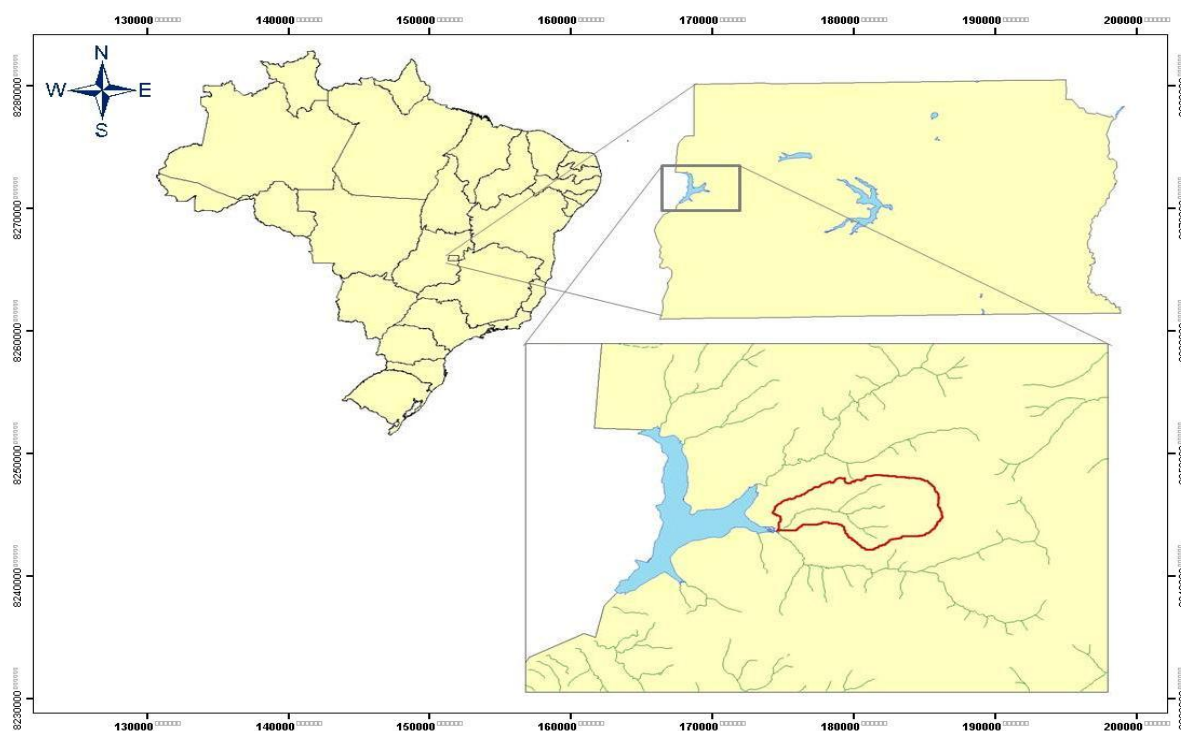


Figura 2 - Localização da área de estudo.

4.1.2 Solos

O tipo de solo que predomina na região, correspondente a aproximadamente 71% da área da bacia do Rio Descoberto, é o latossolo, tendo como representante o latossolo vermelho ocupando 34% e o latossolo vermelho-amarelo ocupando 37% da bacia.

O latossolo se caracteriza por ser um solo mineral, não hidromórfico, profundo (superior a 1,5m), apresentando horizonte B espesso (acima de 50 cm) e muito poroso. Apesar de ser um solo bem estruturado e com boa drenagem, quando se encontra desnudo, o latossolo torna-se altamente suscetível à erosão.

As classes de cambissolo perfazem 13,8% da bacia. O cambissolo é um solo que apresenta um horizonte subsuperficial submetido a pouca alteração física e química, porém suficiente para o desenvolvimento de cor e estrutura. Geralmente, apresenta minerais primários, facilmente intemperizáveis e teores mais elevados de silte. Seu horizonte subsuperficial é denominado B incipiente.

Correspondendo a 1,11% da área total da bacia do Descoberto, tem-se a classe plintossolo, que é um solo mineral hidromórfico, com séria restrição à percolação de água, encontrado em situações de alagamento temporário e, portanto, escoamento lento (Reatto *et al.*, 2003).

4.1.3 Clima

A bacia do Capão Comprido está incluída no domínio morfoclimático do Cerrado, caracterizado por chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas-galerias. De acordo com a classificação de Köppen, possui clima tropical de altitude tipo Cwa, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente superior a 22°C. A média anual das precipitações oscila entre 1.200 a 1.750 milímetros. A estação seca é bastante rigorosa e se estende aproximadamente de maio a setembro, chegando a ocorrer ausência de chuvas durante estes meses em alguns anos extremamente secos. A estação chuvosa vai de outubro a abril e apresenta maior pluviosidade no verão (dezembro a março), quando se concentram mais de 80% do total anual de chuvas. A umidade relativa do ar é de aproximadamente 80%, podendo chegar aos 15% ou menos no inverno (Falcomer, 2001).

4.1.4 Hidrografia

O DF é caracterizado como um divisor de águas, por estar na cabeceira de três regiões hidrográficas brasileiras: Paraná, São Francisco e Tocantins/Araguaia.

A bacia do Descoberto é uma sub bacia da bacia do Rio Corumbá, que por sua vez é tributária da bacia do rio Paraná. O sistema hídrico da bacia do Descoberto tem sua origem nos contrafortes da Chapada Veredinha com o córrego Capão da Onça. Com o encontro desses e dos córregos Bocanhão e Barocão, tem origem o Rio descoberto. Após percorrer cerca de 15 km e receber contribuição dos córregos Buriti, Veredinha e Cortado, é represado, constituindo o lago do Descoberto. Pelo lado do DF, nesse lago deságuam outros córregos e ribeirões, e.g., Chapadinha, Olaria, Jatobazinho, Capão Comprido, entre outros (De Vito, 2007)

O lago do Descoberto está situado na latitude 15°52'S e na longitude 48°10'W e possui comprimento máximo de 25,5 km, largura máxima de 8 km, profundidade máxima de 32 m e espelho d'água com área de 14,8 km² (Figura 3).

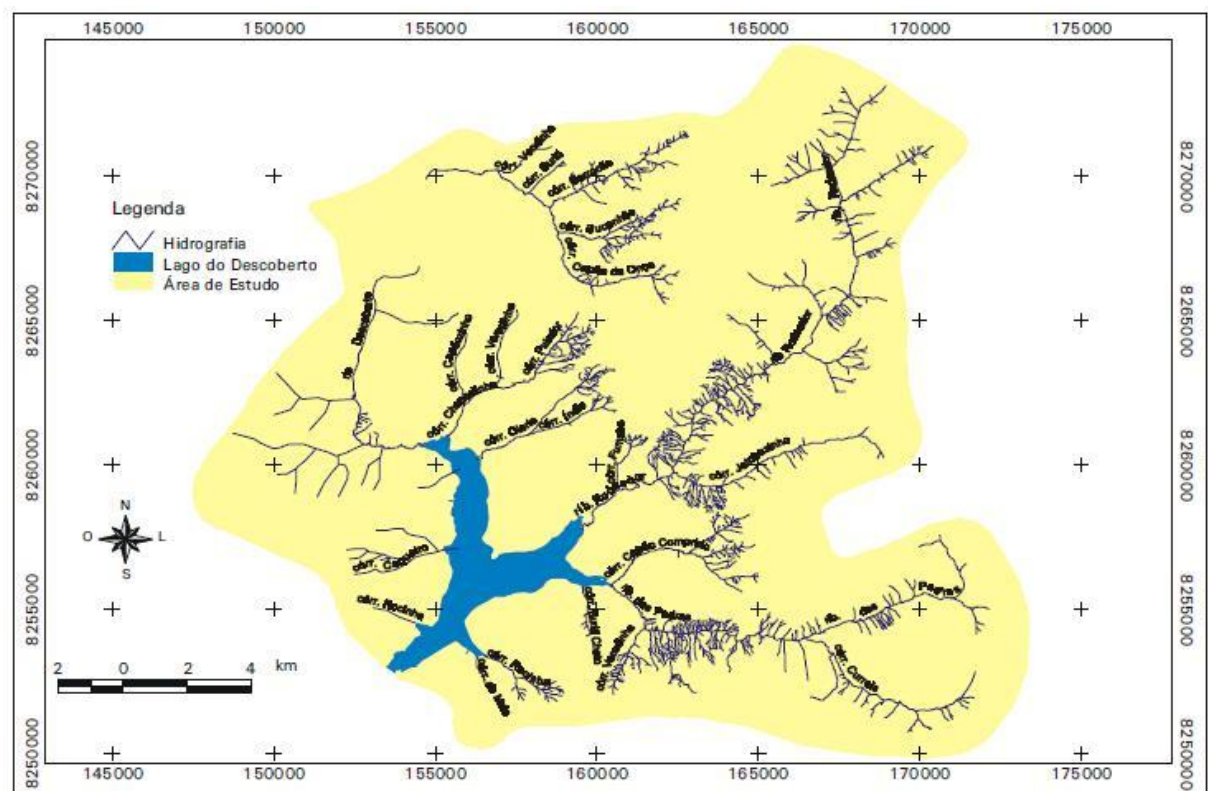


Figura 3 – Hidrografia da bacia do rio Descoberto (Fonte: ADASA, 2011).

Para efeito de estudos, a bacia do Descoberto foi dividida em 14 sub bacias e microbacias, incluindo a bacia do córrego Capão Comprido.

4.1.5 Relevô

O relevô dominante no Distrito Federal é caracterizado por áreas planas e elevadas, colinas arredondadas e chapadas intercaladas por escarpas. Ao norte e ao sul pequenas diferenças podem ser percebidas na paisagem. Ao norte, relevô acidentado, com vales profundos chamados "vãos". Ao sul, são comuns os vales abertos e as encostas pouco íngremes.

A altitude média é de 1.100 m, tendo como ponto mais elevado a Chapada da Vendinha, localizada a noroeste com 1.349 metros.

A bacia do Capão Comprido possui cotas altimétricas variando de 1030 a 1270 metros, apresentando o relevô característico do DF.

4.1.6 Principais usos do solo

A Área de Proteção Ambiental da bacia do rio Descoberto-DF/GO (APA do Descoberto) foi criada pelo Decreto Federal nº 88.940 de 07 de novembro de 1983, abrangendo uma área de 39.100 hectares, com a finalidade de assegurar condições ecológicas satisfatórias aos mananciais (Brasil, 1983). É uma área de abastecimento de água às populações urbanas do Distrito Federal, através do lago do Descoberto, e de produção de hortifrutigranjeiros no Projeto Integrado de Colonização Alexandre de Gusmão - PICAG, que foi implantado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, na década de 1960, na atual área da APA.

O PICAG objetivou a fixação de agricultores não absorvidos pela mão de obra na construção civil e a instalação de um cinturão verde nas proximidades das cidades satélites, responsável pela produção de cerca de 40% dos produtos hortifrutigranjeiros consumidos no Distrito Federal (Brasil, 1991). A APA tem sido alterada devido aos desmatamentos, mudança no uso do solo, como por exemplo, de pastagem nativa para cultivos e silvicultura, com predominância de espécies dos gêneros pinus e eucaliptos, e urbanização (Falcomer, 2001).

Em muitas áreas da BHRD a vegetação perdeu as características originais e hoje apresenta pastagens, reflorestamentos e apenas alguns remanescentes dos originais cerradões, campos, várzeas de buritizais, “murundus” e das matas ciliares (Pereira, 2004).

Desse modo, a bacia do córrego Capão Comprido caracteriza-se pelas atividades agrícolas, onde são exploradas a agricultura e pecuária em pequenas propriedades rurais (Nascimento *et al.*, 2000). Além disso, observam-se também muitas chácaras de lazer e recreação, caracterizando diversos pontos de urbanização de baixa densidade.

Os principais produtos cultivados são: cenoura, beterraba, alface, brócolis, couve, coentro, cebolinha, rúcula, vagem, berinjela, tomate, batata-doce, goiaba, poncan, limão, entre outros. O método de irrigação mais utilizado é o sistema de aspersão convencional.

4.2 MODELO SWAT E CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

A construção da base de dados foi direcionada ao atendimento dos dados de entrada necessários para a simulação com o modelo SWAT

Utilizou-se o programa do SWAT Interface ArcGIS – ArcSWAT - Soil and Water Assessment Tool versão 2009.93.5, desenvolvido pelo Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station e USDA Agricultural Research Service. Parte dos dados de entrada foram gerados pela própria interface ArcSWAT.

4.2.1 Construção da base de dados

4.2.1.1 Modelo de elevação digital

O modelo digital de elevação - DEM representa o relevo de forma real e assegura a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo assim, a consistência hidrológica do processo de simulação.

No presente estudo o DEM foi gerado com resolução espacial de 30 metros a partir de curvas de nível disponibilizadas pelo IBGE, escala 1:50000 . A elaboração do DEM foi feita através do programa de geoprocessamento ArcGIS 9.3, com base no uso das extensões: Spatial Analyst v. 1.1 e 3D Analyst v. 1.0, aplicativos desenvolvidos pela Environmental Systems Research Institute (ESRI), Redlands, California, EUA.

4.2.1.2 Hidrografia

Fornecendo o DEM ao SWAT, foram gerados pelo programa a rede hidrográfica, a convergência do escoamento superficial e os pontos de saída de cursos d'água.

A extensão dos cursos d'água foi calculada com base na rede hidrográfica gerada pelo SWAT.

As declividades total e média do canal principal foram obtidas pelas equações abaixo, respectivamente:

$$Dt = \frac{(cota\ maior - cota\ menor)}{extensão\ do\ canal}$$

$$Dm = \frac{(cota\ média - cota\ menor)}{extensão\ do\ canal}$$

A densidade de drenagem foi calculada através da seguinte equação:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Em que, $\sum L$ é o comprimento total dos cursos d'água na bacia e A é a área de drenagem.

4.2.1.3 Delineamentos de bacia e sub bacias

Para o delineamento da bacia e das sub-bacias foram selecionados manualmente os pontos de saída dos cursos de água. Após a seleção o SWAT delimitou automaticamente a bacia hidrográfica. Os demais pontos exutórios das sub bacias no interior da BHCC foram gerados automaticamente pelo SWAT e foram confirmados para a delimitação e geração das sub-bacias.

4.2.1.4 Mapa de solos

O mapa pedológico da bacia do Capão Comprido, escala 1:100.000, elaborado por Reatto (2003) pesquisadora da Embrapa Cerrados – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária em conjunto com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento em 2004, foi disponibilizado pela pesquisadora para a realização do presente trabalho.

4.2.1.5 Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo

O mapa de uso do solo foi elaborado por meio do software de geoprocessamento ArcGIS, pela confecção de polígonos sobre a imagem de satélite georreferenciada nas áreas de diferentes classes de uso, conforme o layout do ArcGIS apresentado na Figura 4, sobre a Projeção Geográfica Datum Planimétrico SAD 69 Zona 23 S.

As informações de sensoriamento remoto utilizadas no estudo foram provenientes de imagem de satélite gerada e disponibilizada pelo Google Earth, com data de 23 de abril de 2010 e posteriormente comparada e conferida com a imagem do satélite LANDSAT-5, de 6 de março de 2010, disponibilizada pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, do Ministério da Ciência e Tecnologia.

Além das imagens, o reconhecimento da área foi feito em campo, podendo identificar 12 diferentes classes de uso características da região, descritas a seguir: (1) Cidade, (2) Estradas, (3) Áreas construídas, (4) Corpos d'água, (5) Mata Ciliar, (6) Reflorestamento, (7) Fruticultura, (8) Olericultura/Horticultura, (9) Campo limpo/Pastagem, (10) Cerradão, (11) Solo exposto e (12) Cerrado.

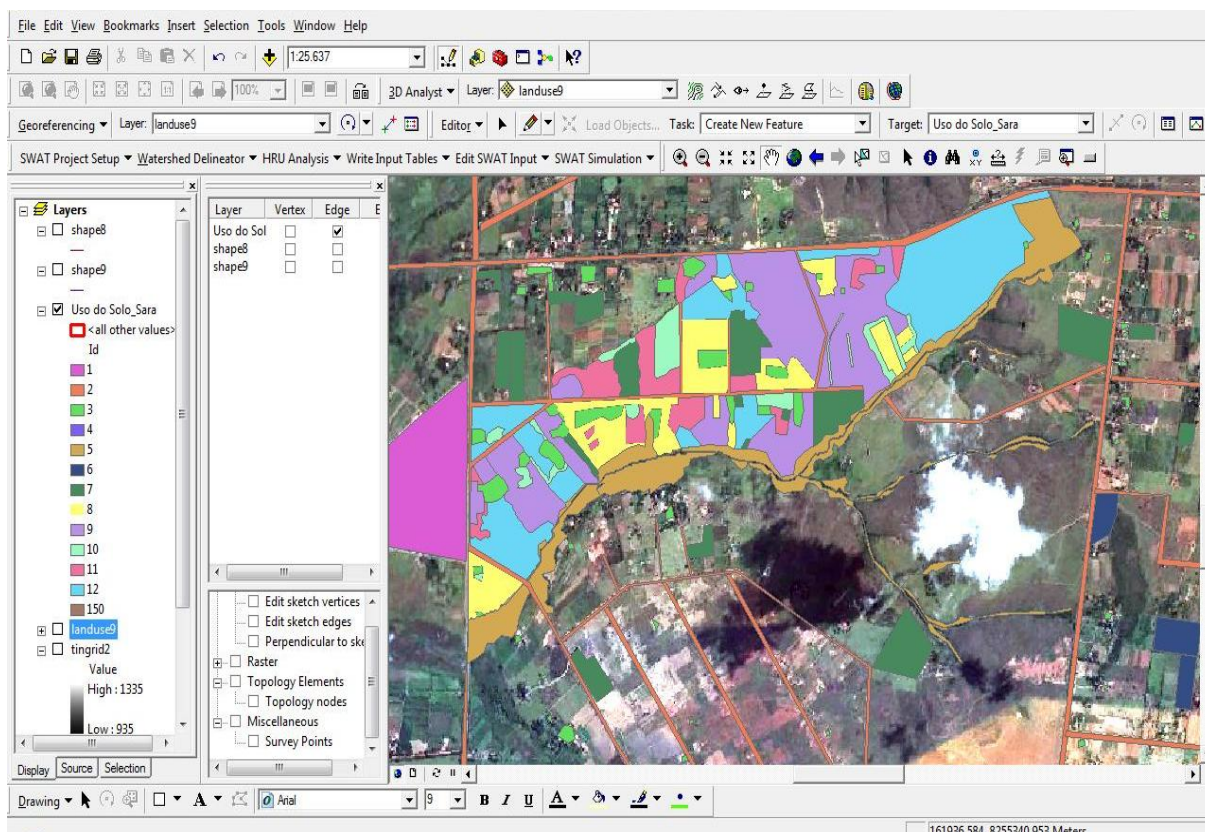


Figura 4 – Layout do ArcGIS mostrando a construção do mapa de uso do solo.

4.2.1.6 Declividade

As divisões de classes de declividade utilizadas na construção do modelo foram obtidas por meio da realização de testes em busca de resultado que decompusesse o relevo em classes contendo áreas expressivas de mesma declividade, baseado no modelo de elevação digital citado no item 4.2.1.1.

4.2.1.7 Definição das unidades de resposta hidrológicas - URH

O SWAT particiona a bacia hidrográfica em unidades de resposta hidrológica (URHs) embasadas no cruzamento de dados como usos e cobertura do solo, tipos de solo e declividade. Nessa etapa, ocorre o reconhecimento pelo modelo dessas características da bacia.

A subdivisão da bacia hidrográfica em URHs permite que o modelo determine as diferenças na evapotranspiração decorrentes dos diversos manejos e solos existentes em cada sub-bacia.

O escoamento superficial é estimado separadamente para cada URH para depois ser obtido o escoamento total para a bacia hidrográfica. Esse processo aumenta a exatidão e fornece uma melhor descrição física do balanço hídrico.

O número de URHs na bacia foi definido por essa combinação gerada pelo SWAT e com supressão de áreas menores que 2% do total nos dados de usos de solo, tipo de solo e declividade.

É também a partir das URHs que o SWAT gera os parâmetros da MEUPS - Equação Universal de Perda de Solos Modificada.

4.2.1.8 Dados climáticos

Os dados meteorológicos medidos, que possibilitaram as simulações pelo gerador climático, foram valores médios diários de precipitação, temperaturas mínima e máxima, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento.

Os dados de precipitação, disponibilizados pela CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - foram obtidos na estação pluviométrica no Descoberto, localizada a jusante do lago, cujo código de registro da estação na ANEEL é 01548008, latitude 15° 46' 49" S, longitude 48° 13' 49" W e altitude 1.061,00 metros.

Os dados diários de temperatura, umidade relativa, radiação solar e de velocidade do vento foram disponibilizados pelo INMET, dados gerados na estação climatológica principal de Brasília, registrada na ANEEL pelo código 083377, latitude 15° 57' S, longitude 047° 56' W e altitude 1.159,54 metros.

Os dados foram devidamente organizados em modelos de tabela requeridos pelo SWAT.

O período de tempo dos dados climatológicos diários foi definido pelo período em que os dados requeridos estavam todos disponíveis, entre 1 de janeiro de 1988 a 31 de dezembro de 2008.

Foi realizada a análise de consistência para todas as séries de dados dentro do período de tempo definido e foram preenchidas as falhas através de médias entre o dia anterior e dia posterior quando se tratou de temperatura e umidade relativa. No entanto, para o preenchimento de dados de chuva foi preenchido com o valor médio dos dias correspondente em todos os anos uniformizando os dados. Os demais parâmetros apresentaram seus dados completos.

Os dados climáticos foram organizados em médias mensais e anuais e apresentados em forma de gráficos gerados pelo Microsoft Office Excel 2007.

4.2.1.9 Dados observados de vazão

Os dados de cota medidos no curso d'água do córrego Capão Comprido foram obtidos pelo Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH, no exutório da bacia, no período de 01 de junho de 2003 a 31 de dezembro de 2005.

A curva-chave utilizada para os cálculos foi obtida por Lopes (2010) pela equação do tipo potencial.

A vazão observada serviu para a verificação do modelo pela comparação com os dados calculados.

4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Foi realizada a análise de sensibilidade com todos os parâmetros que o SWAT utiliza para os cálculos de estimativa de vazão e que podem influenciar a dinâmica

hidrossedimentológica no modelo. Os parâmetros encontrados pela análise de sensibilidade foram hierarquizados por ordem de influência.

4.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

Neste estudo foram escolhidos dois cenários de uso e cobertura do solo para a bacia do Capão Comprido, além do cenário atual. Os cenários tiveram por objetivo verificar a influência da mudança de uso e cobertura do solo, bem como da operação dos recursos hídricos, na dinâmica hidrossedimentológica, verificada pelos hidrogramas e sedimentogramas. Os cenários simulados foram:

- Cenário 1: Sem ação antrópica (com cerrado e cerradão em toda área de estudo);
- Cenário 2: Uso e cobertura atual (áreas de cerrado, agricultura, pastagem, reflorestamento e chácaras);
- Cenário 3: Estágio avançado de ocupação (agricultura e urbanização destruídas em toda a BH).

É importante ressaltar que a adoção desses cenários avaliou a mudança do uso do solo sobre a dinâmica hidrossedimentológica, não avaliando as modificações devido ao tipo de solo e nem as mudanças de dados climatológicos.

A construção do cenário 2 foi descrita no item 4.2.1.5.

Os mapas dos cenários 1 e 3 foram desenvolvidos no ArcGIS, com distribuição das áreas ao acaso e expandindo tendências conforme o uso atual, no caso do cenário 1, levando em conta a possibilidade de como seria a área antes da construção de Brasília, antes de 1960.

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados foi feita pela organização dos dados obtidos anualmente na BHCC. Para tal, foram calculadas as médias ponderadas dos resultados gerados pelo SWAT por sub bacias, URHs e corpos d'água, dependendo de que forma os parâmetros escolhidos para a análise foram gerados. Tais parâmetros foram selecionados devido a sua ligação com a produção e carreamento de sedimentos.

Todos os dados obtidos foram sumarizados e expressos como média e \pm erro padrão da média e submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa *Statistica* versão

7.0. Consoante aos resultados da ANOVA foi realizada a análise de separação de médias, utilizando-se o teste de Tukey, sendo que valores de $P < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

Uma breve descrição dos parâmetros seleccionados e a forma com que o SWAT os calcula são apresentadas a seguir.

4.5.1 Componentes do balanço hidrológico

4.5.1.1 Precipitação

A precipitação gerada pelo SWAT é baseada nos dados diários reais fornecidos. A quantidade total de chuva na superfície da bacia assumida como igual à precipitação pluviométrica multiplicada pela área da bacia, assumindo que a chuva foi uniforme na área da bacia.

4.5.1.2 Escoamento superficial

O valor do *Surq* (mm) gerado pelo SWAT representa o escoamento superficial que foi gerado pelo excesso de precipitação e fluiu sobre a superfície do solo.

O escoamento superficial foi calculado pelo SWAT a partir dos valores de precipitação diária por meio do método da Curva Número (CN). O método da Curva Número é o resultado de mais de vinte anos de estudos envolvendo relações entre a precipitação e o escoamento superficial de pequenas bacias hidrográficas rurais nos Estados Unidos. Esse modelo foi desenvolvido para estimar o escoamento superficial para os mais variados tipos e usos de solos.

A Curva Número – CN é uma função da permeabilidade do solo, do uso do solo e das condições antecedentes de umidade do solo.

4.5.1.3 Percolação

O valor *Perc* (mm) do SWAT representa a percolação, à transferência de água do solo para o reservatório de água subterrânea. A água somente é percolada se a quantidade de água exceder a capacidade de campo para aquela camada e a camada inferior não estiver saturada.

A percolação é calculada para cada camada (horizonte) no perfil do solo, conforme a equação:

$$W_{perc, ly} = SW_{ly, excess} \times \left(1 - \exp \times \left[\frac{-\Delta t}{TT_{perc}} \right] \right)$$

Em que, W_{perc} é a quantidade de água que percola para a próxima camada (mm), $SW_{ly, excess}$ é o volume drenável de água na camada de solo (mm), Δt é a duração do passo de tempo (horas) e TT_{perc} é o tempo de propagação na camada do solo (horas).

4.5.1.4 Evapotranspiração

Os dados de ET apresentados pelo SWAT representam a evapotranspiração que é um termo global que inclui todos os processos do qual a água da superfície terrestre é convertida em vapor de água. Ela inclui a evaporação das copas de árvores, transpiração, sublimação e evaporação pelo sol.

O modelo SWAT calcula primeiramente a evaporação da precipitação interceptada pela cobertura vegetal, depois a quantidade máxima de transpiração e a quantidade máxima de evaporação do solo.

4.5.1.5 Vazão

Os dados $Flow_Out$ (m³/s) do modelo SWAT representam a vazão que flui canal abaixo até a exutória da bacia.

4.5.2 Componentes do balanço sedimentológico

4.5.2.1 Erosão

A erosão causada pela chuva e pelo escoamento total de água na bacia hidrográfica é estimada pela Equação Universal de Perda de Solos Modificada. A *MEUPS* é uma versão modificada da Equação Universal de Perda de Solos (*Universal Soil Loss Equation – USLE*).

A EUPS estima a erosão bruta anual média em função da energia da precipitação, do manejo, dos usos do solo, do tipo do solo e do relevo. No entanto, a MEUPS utiliza a quantidade de escoamento para simular a erosão bruta e a produção de sedimentos, representando a energia utilizada na desagregação e transporte de sedimentos. Essa alteração de fórmulas resulta em alguns benefícios: a) a precisão do modelo aumenta pelo fato de que o

escoamento é uma função das condições umidade antecedente, assim como a energia da chuva; b) a taxa de transporte é eliminada, pois o fator que representa a energia é o escoamento e não somente a precipitação utilizada na EUPS apenas na desagregação; e c) permite que seja utilizada em eventos isolados. A equação utilizada pelo SWAT para o cálculo é apresentada a seguir:

$$SED = 11,8 \times (Q_{sup} \times Q_{pico} \times Ahru)^{0,56} \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \times CFRG$$

Em que, *SED* é a produção de sedimentos (ton.dia⁻¹), *Q_{sup}* é o volume de escoamento superficial (mm.ha⁻¹), *Q_{pico}* é a vazão de pico (m³.s⁻¹), *Ahru* é a área da unidade de resposta hidrológica - HRU (ha), *K* é o fator de erodibilidade do solo, *C* é o fator de cobertura e manejo, *P* é o fator de práticas conservacionistas, *LS* é o fator topográfico, e *CFRG* é o fator de fragmento grosseiro.

4.5.2.2 Sedimentos

Os resultados apresentados como *SYLD* no modelo representam a carga de sedimentos que foram transportados para o canal principal durante um intervalo de tempo, em ton.ha⁻¹, e foi considerado no presente trabalho para representar os sedimentos que podem influenciar no assoreamento tanto do córrego, quanto do lago.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

5.1.1 Modelo de elevação digital

As curvas de nível espaçadas em 5 m em 5 m, conforme apresentado na Figura 5, indicaram as cotas da bacia hidrográfica. Como resultado obteve-se o DEM da bacia do Capão Comprido apresentado na Figura 6, onde foi observado que a altitude máxima é de 1.270 m, e mínima de 1.030,31 m a jusante da bacia, e a altitude média é de 1.158,74 m.

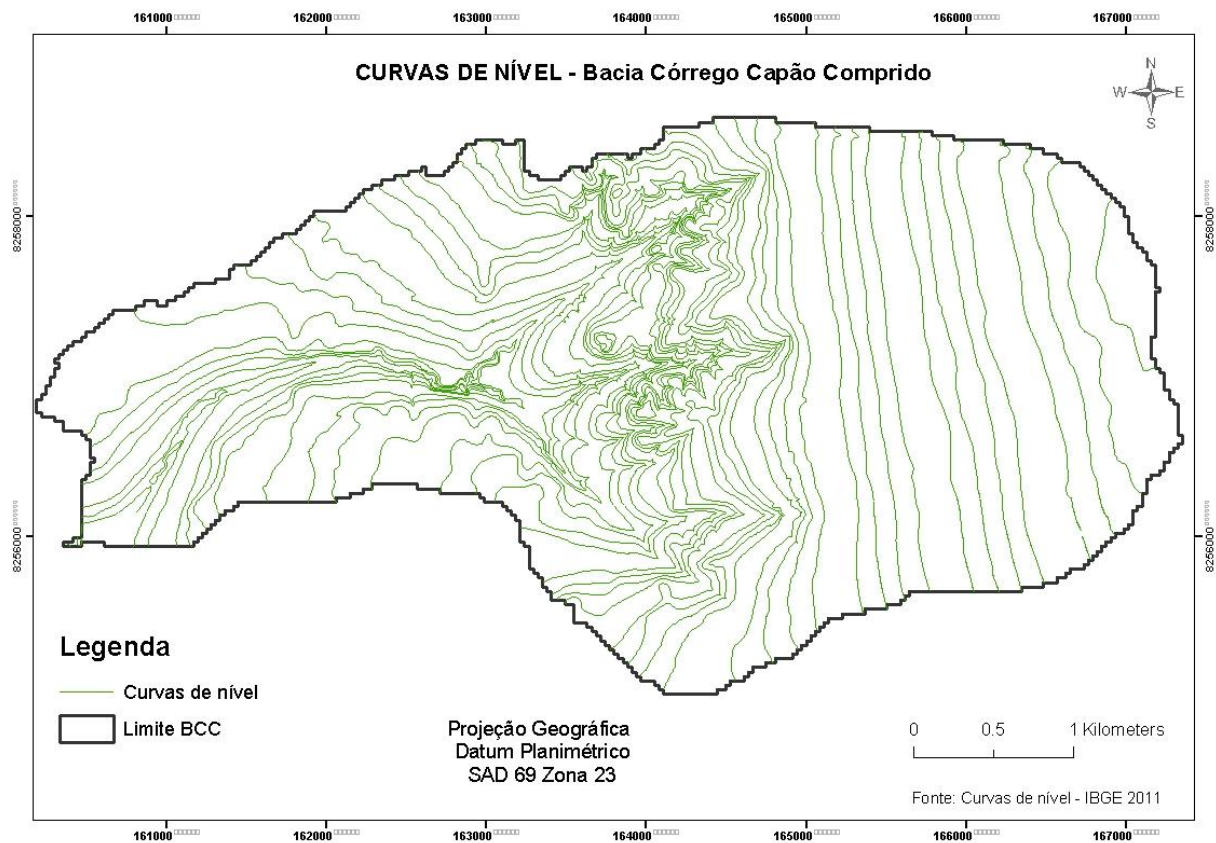


Figura 5 – Curvas de nível, dentro da BHCC, espaçadas de 5 em 5 m.

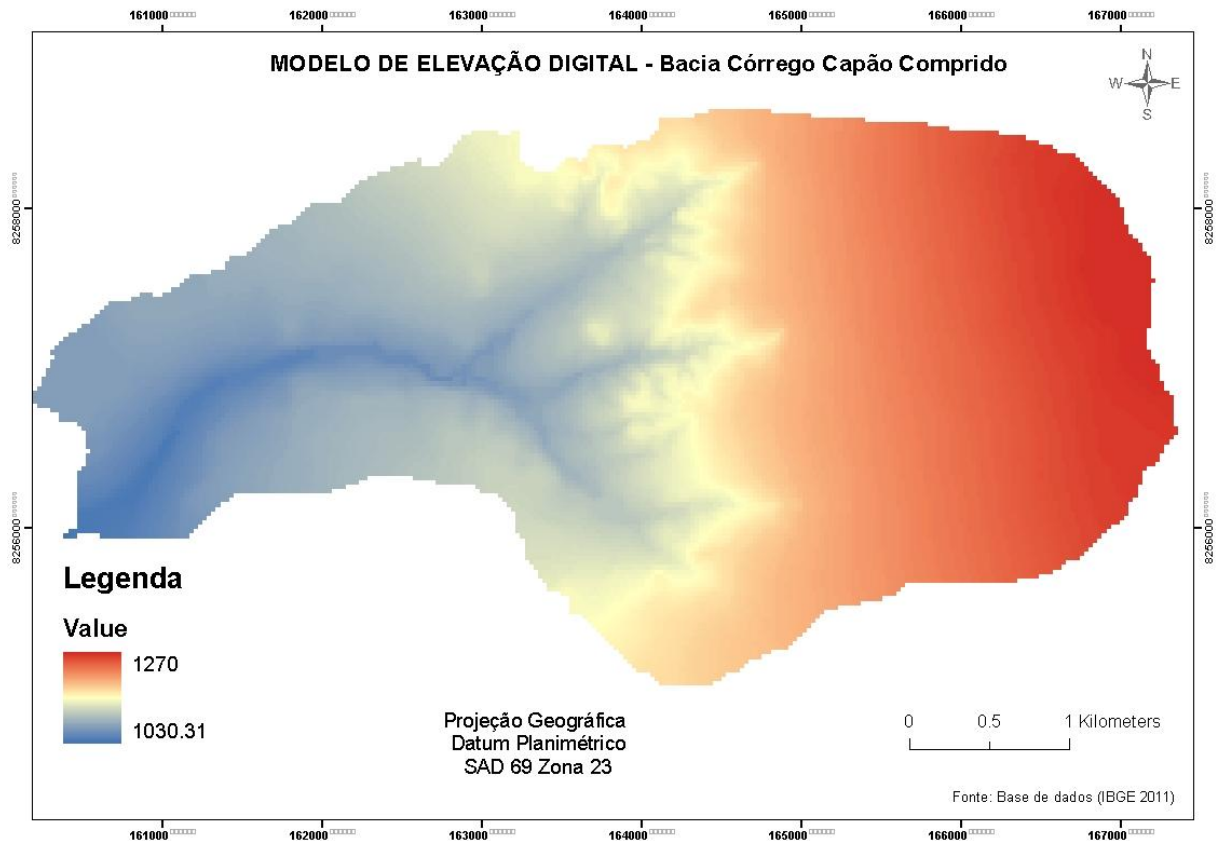


Figura 6 – Modelo de elevação digital da BHCC.

5.1.2 Hidrografia

O sistema de drenagem da BHCC é constituído pelo canal principal, córrego Capão Comprido e dois tributários. A rede hidrográfica da bacia gerada pela Interface ArcSWAT é apresentada na Figura 7.

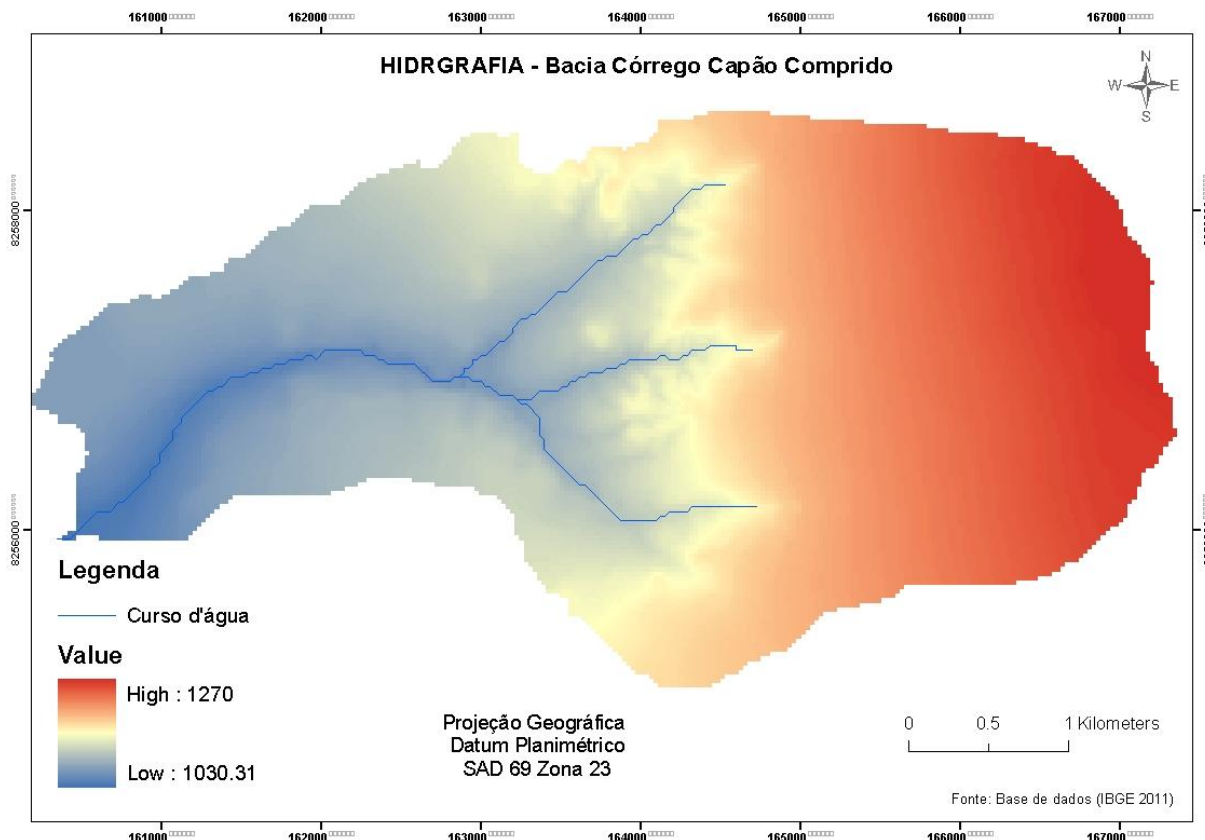


Figura 7 – Rede hidrográfica da BHCC gerada pelo SWAT.

A extensão do canal principal foi calculada em 5,58 km, sendo constituído pelo braço de drenagem localizado mais ao sul na bacia pelo canal que deságua no lago. A extensão do tributário, ao centro da bacia, foi calculada em 1,66 km, e o comprimento do outro tributário, localizado mais ao norte na bacia, foi de 2,23 km.

A altitude máxima do canal principal é de 1.155 m e a mínima no exutório da bacia é de 1.030,31 m. A declividade total e média do canal principal foi de 0,0224 e 0,0112 m/m, ou seja 2,2 e 1,1% de declividade, respectivamente.

Um bom desenvolvimento de um sistema de drenagem é dado pelo índice chamado densidade de drenagem. A densidade de drenagem varia diretamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Embora existam poucas informações sobre a densidade de drenagem de bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia de 0,5 km/km² para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (Villela & Matos, 1975). A densidade de drenagem da BHCC é de 0,6 km/km². Comparada com a densidade de drenagem das bacias dos rios Fortaleza, Caeté e do Peixe localizadas no estado de Santa Catarina, que são de 1,66 km/km², 1,95 km/km² e 1,59 km/km², respectivamente, pode-se dizer que é

reduzida. Porém, semelhante ao que ocorre na BHCC, a bacia do rio Pipiripau, também localizada no DF, apresenta densidade de drenagem de 0,52 km/km², evidenciando uma característica da região.

5.1.3 Sub-bacias

O delineamento das sub bacias e da bacia do Capão Comprido como um todo está apresentado na Figura 8. Foram geradas 5 sub bacias, com áreas de (1) 4,34 km², (2) 0,21 km², (3) 2,61 km², (4) 4,10 km² e (5) 4,45 km².

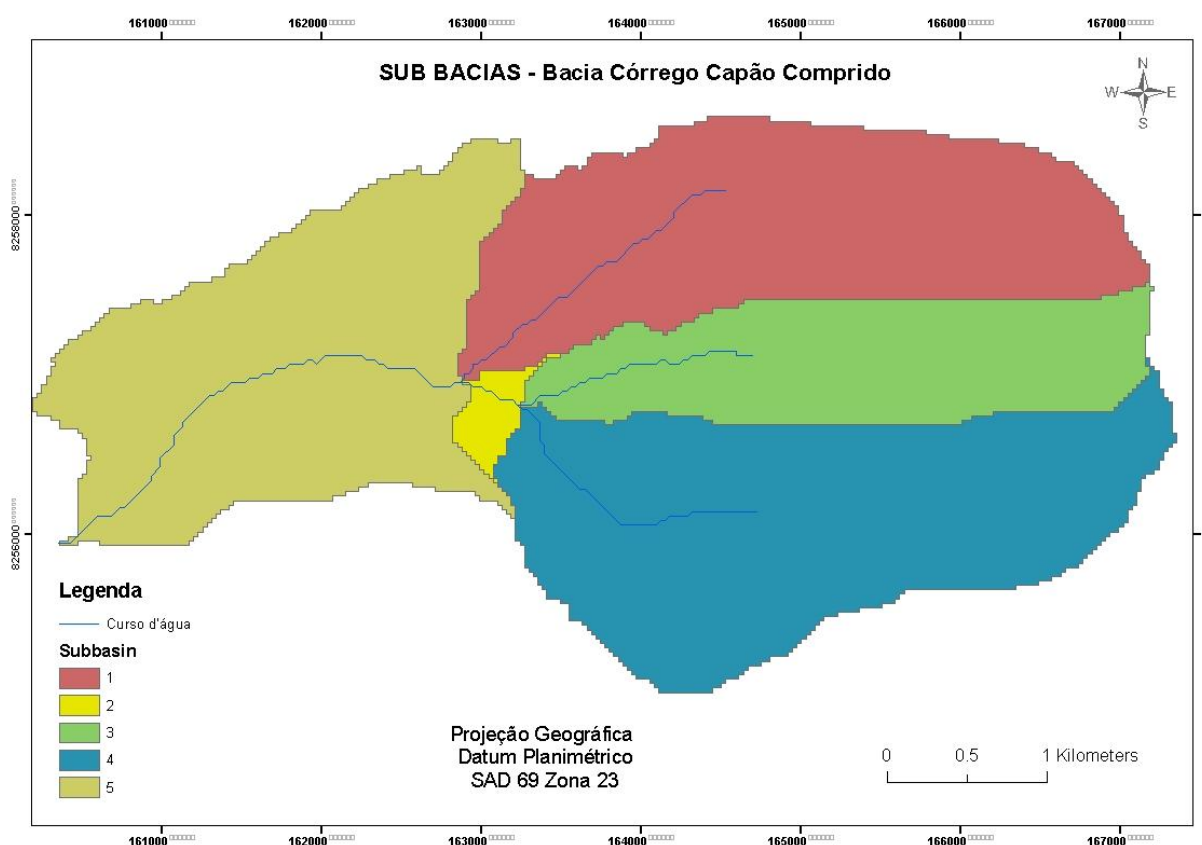


Figura 8 – Mapa das sub-bacias que compõem a BHCC juntamente com a rede hidrográfica.

5.1.4 Solo

A BHCC apresenta 4 tipos de solo, onde os principais são o Latossolo Vermelho (LVD-M) e Latossolo Vermelho Amarelo (LVAD-M), seguidos pelo Cambissolo (CXD-MC) e pelo Plintossolo (FX) (Figura 9).

Na Tabela 1, podem-se observar as áreas e respectivas porcentagens referentes às classes de solo identificadas na área de estudo.

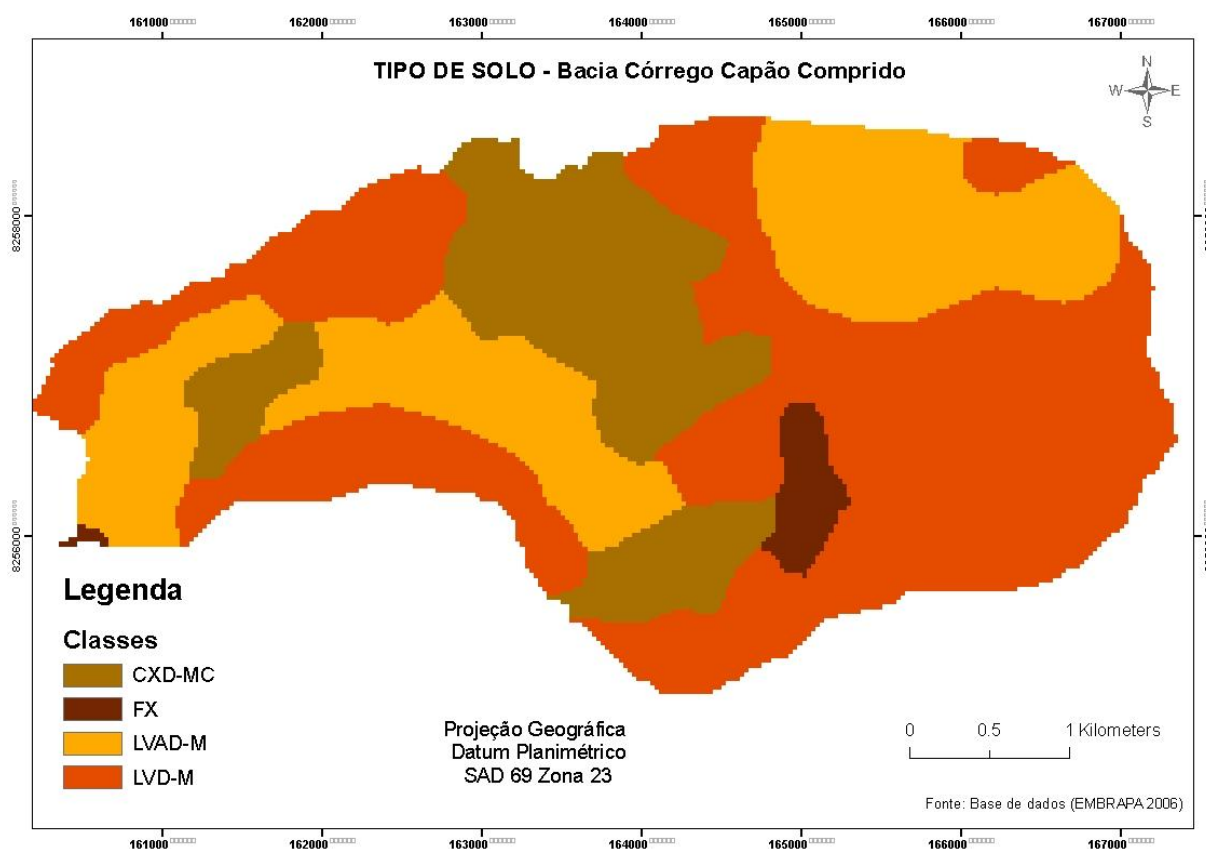


Figura 9 – Mapa dos tipos de solo da BHCC..

Tabela 1 – Tipos de solo e suas respectivas áreas ocupadas na BHCC.

Tipo de Solo			
Código	Descrição	Área (km ²)	Área (%)
CXD-MC	Cambissolo	3.38	20.37
LVD-M	Latossolo Vermelho	8.30	50.01
LVAD-M	Latossolo Vermelho Amarelo	4.55	27.39
FX	Plintossolo	0.37	2.23
Total	---	16.6	100.00

5.1.5 Declividade

A declividade da bacia, como mostrado na Figura 10, foi dividida em três classes, a primeira contendo áreas com até 10% de declividade, a segunda de 10 a 20%, e a terceira de 20 a 50%.

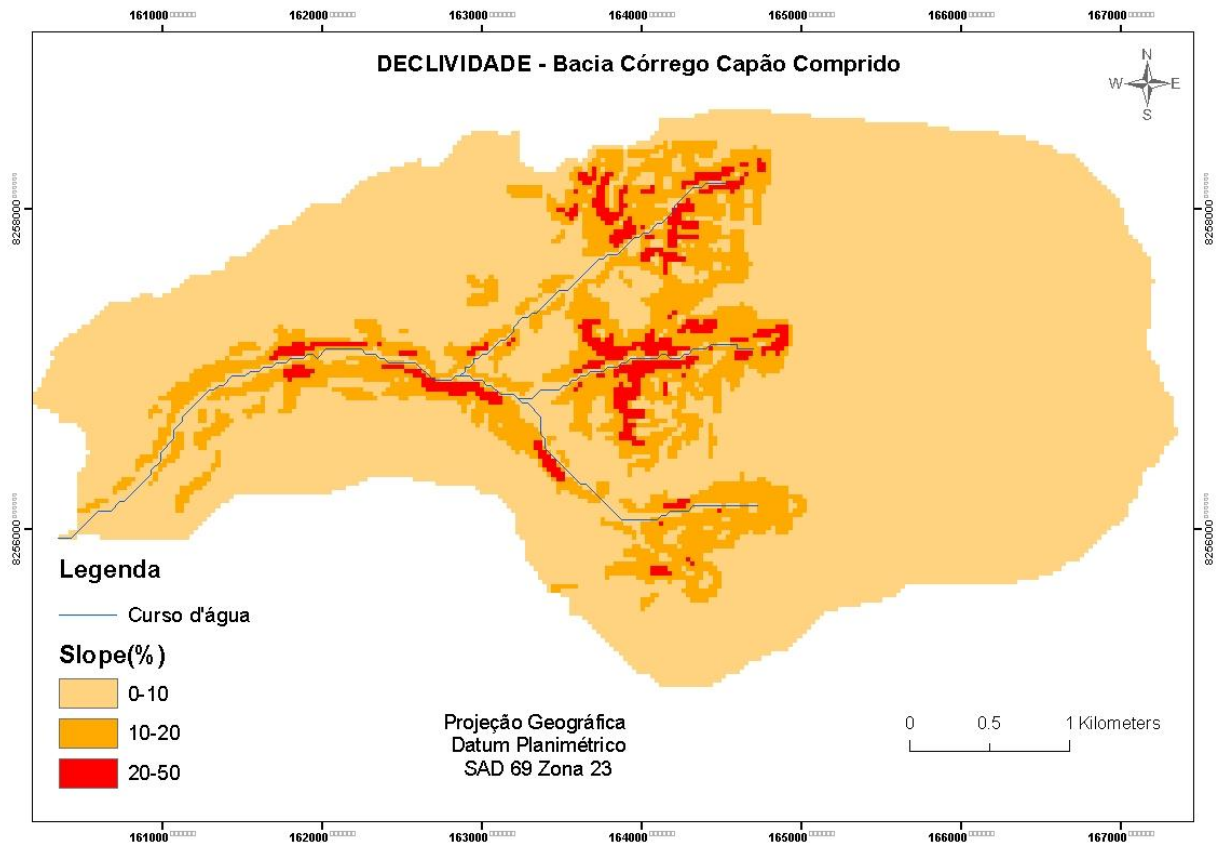


Figura 10 – Mapa de declividade da BHCC.

Observou-se que a maior parte da BHCC (13,54 km²) apresenta declividade inferior a 10%, e o restante se divide em declividades ente 10 e 20% (2,59 km²) e de 20 a 50% (0,47 km²), próximo à mata ciliar e rede hidrográfica.

5.1.6 Uso do solo

O mapa de uso e cobertura do solo atual foi elaborado para sua utilização como parâmetro de avaliação da bacia no SWAT (Figura 11).

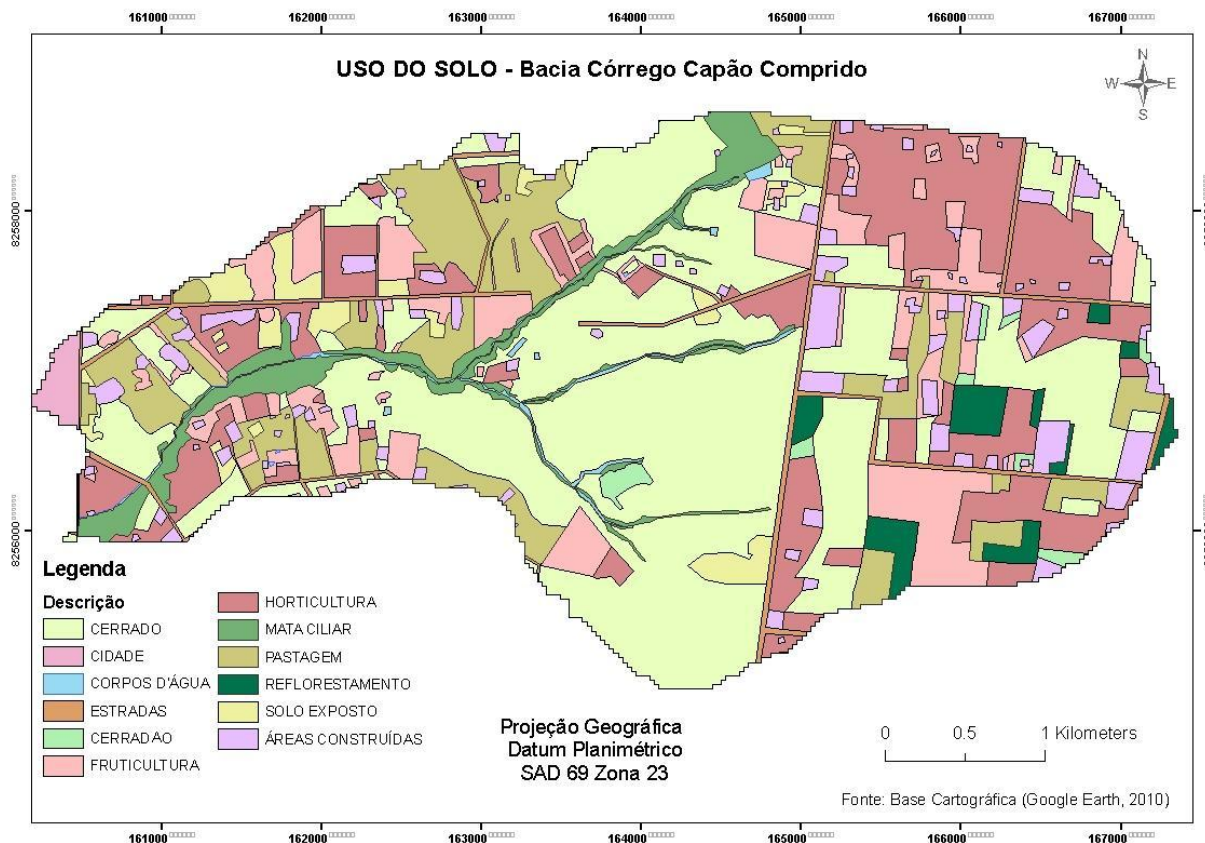


Figura 11 – Mapa atual de uso e cobertura do solo da bacia do Capão Comprido.

As principais características visuais dessas 12 áreas foram detalhadas na Figura 12, de acordo com as descrições e definições detalhadas abaixo:

- (1) Cidade: Área urbana de maior densidade.
- (2) Estrada: Vias urbanas.
- (3) Áreas construídas: Áreas de chácaras, compostas normalmente por uma casa, galpões e jardim, piscina e área de lazer.
- (4) Corpos d'água: açudes, represamento de água para fins de irrigação e córregos.
- (5) Mata Ciliar: vegetação típica ao longo das linhas de drenagem, localizando-se geralmente nos fundos dos vales, não apresentando caducifólia durante a estação seca, sendo a altura média do estrato arbóreo entre 10 e 30 m, apresentando uma superposição das copas de modo a fornecer cobertura arbórea de 80 a 100%.
- (6) Reflorestamento: plantio de árvores (silvicultura) com finalidade comercial, sendo na bacia do Capão Comprido com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.
- (7) Fruticultura: Área coberta por plantas frutíferas, como goiaba, laranja, pocan, limão e coco.

- (8) Horticultura/Olericultura: talhões com plantações de culturas temporárias (cenoura, beterraba, alface, tomate, couve, entre outras) e anuais (milho).
- (9) Campo limpo/Pastagem: vegetação predominantemente herbáceo-arbustiva, com arbustos e subarbustos esparsos e algumas árvores.
- (10) Cerradão: vegetação nativa de porte arbóreo apresentando dossel contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50 a 90%.
- (11) Solo exposto: Área com retirada de cobertura vegetal, incluindo solos em pousio.
- (12) Cerrado: vegetação com predomínio de espécies arbustivas e herbáceas, apresentando algumas arbóreas espaçadas.

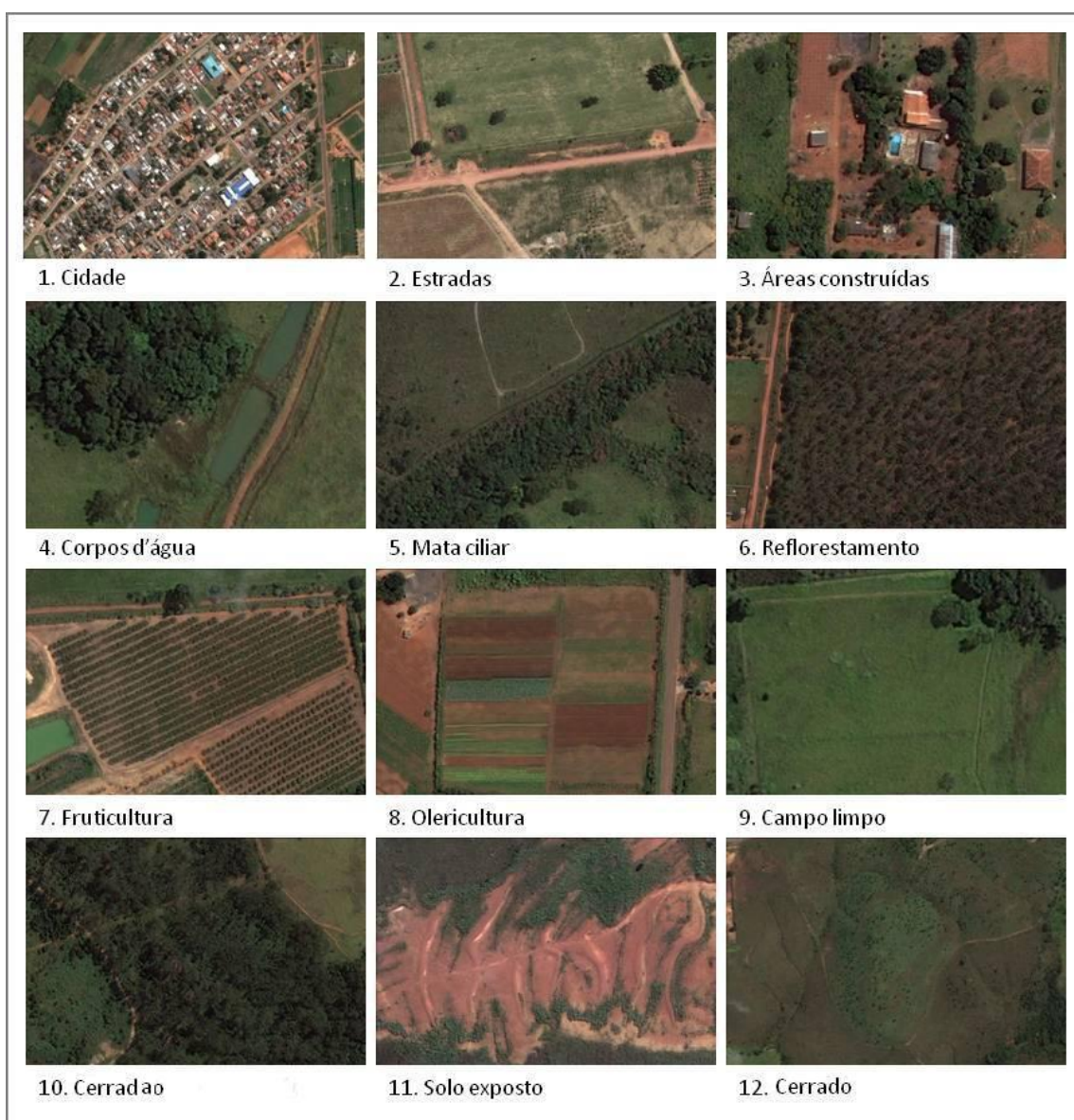


Figura 12 - Imagens dos diferentes usos do solo da bacia do Córrego Capão Comprido e suas respectivas classificações (Fonte das imagens: Google Earth, registradas em 23 de abril de 2010)

Analisando a distribuição das classes de uso e cobertura vegetal, foi possível estimar as áreas (km²) e porcentagens de cada uso e cobertura vegetal na BHCC, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição das áreas de uso e cobertura do solo na BHCC.

Uso do solo	Área (km²)	Área (%)
Cidade	0.11	0.66
Estradas	0.49	3.00
Área construída	0.91	5.46
Corpo d'água	0.13	0.76
Mata ciliar	0.75	4.51
Reflorestamento	0.38	2.24
Fruticultura	1.78	10.69
Olericultura	2.94	17.70
Pastagem	1.91	11.50
Cerradão	0.12	0.74
Solo exposto	0.46	2.75
Cerrado	6.64	39.99
Total	16.6	100.00

5.1.7 Definição das unidades de respostas hidrológicas

Para o cenário 2, cenário atual, o SWAT gerou um total de 152 URHs por meio da combinação do uso do solo, tipo de solo e classes de declividade, e com a supressão das áreas inferiores a 2% do total. No entanto o número de URHs foi diferente nos cenários 1 e 3, chegando a 92 e 142, respectivamente, devido ao número menor de classes de uso do solo em tais cenários.

A supressão de 2% das áreas foi uma decisão tomada devido ao fato de que índices maiores de exclusão descartariam resultados de pequenas áreas de usos de solo e declividade, principalmente. Conforme testado, com 5% de supressão obteve-se um valor inferior, de 33% na quantidade de URHs.

5.1.8 Dados climáticos

Os dados de precipitação, apresentados na Figura 13 demonstram o comportamento da carga total de chuva por médias mensais do ano de 1991 ao ano de 2008. Enquanto na Figura 14 está apresentada a precipitação total dentre os anos.

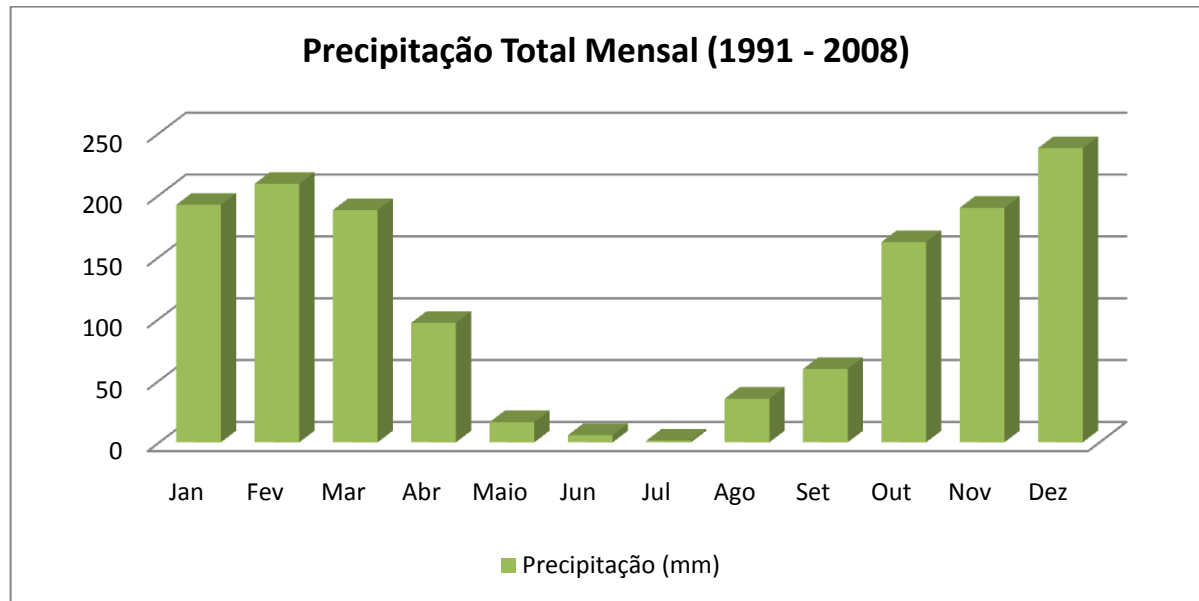


Figura 13 - Precipitação total mensal entre os anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET 2011).

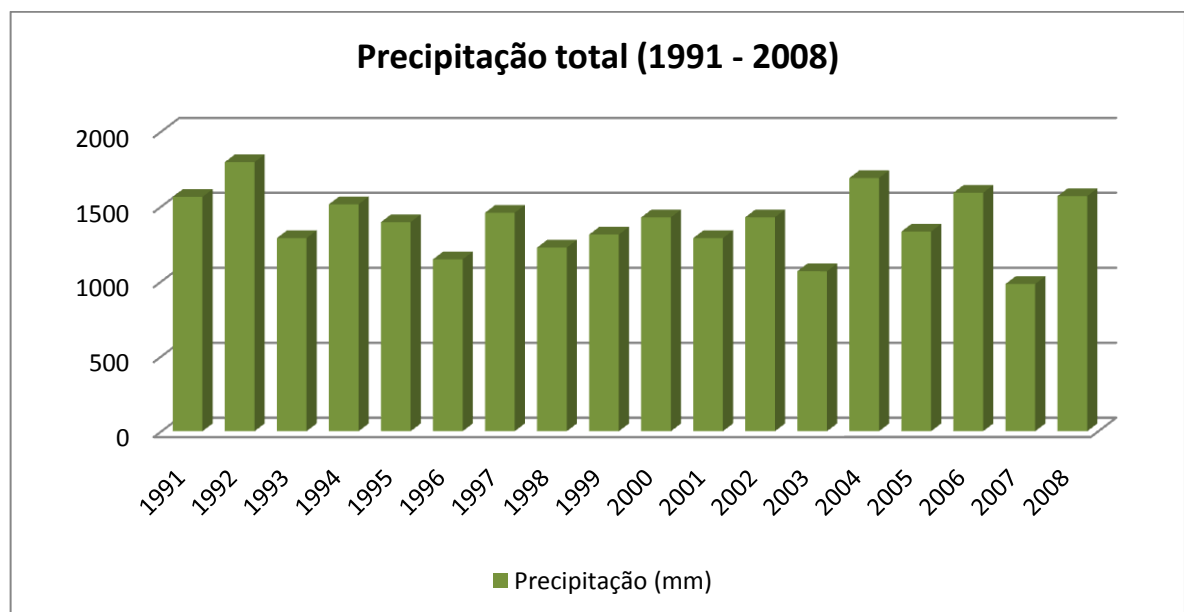


Figura 14 - Precipitação total nos anos simulados, 1991a 2008 (Fonte: INMET, 2011).

A partir das figuras anteriores podemos observar a expressão de duas estações bem definidas: Uma estação de seca, se estendendo entre maio e setembro com precipitações mensais totais variando, de aproximadamente 1 mm no mês de julho a 59 mm no mês de setembro. E outra estação chuvosa, de outubro a abril com maiores distribuição das chuvas entre os meses do verão, variando de 97 mm no mês de maio a 238 mm no mês de dezembro, o total das chuvas.

Nota-se uma disparidade quando comparada a carga precipitada ao longo dos anos, com os anos de 1992 e 2004 apresentando picos de precipitação de 1795 e 1689 mm respectivamente, isso chega a aproximadamente 800 mm a mais que no ano de menores cargas de chuvas e a aproximadamente 400 mm a mais que a média destes 18 anos.

A precipitação sendo parte fundamental do ciclo hidrológico interfere nos demais componentes, importantes no caso de estudo, como o escoamento superficial, a evapotranspiração e a percolação.

O comportamento durante o ano das temperaturas máximas e mínimas pode ser observado na Figura 15, enquanto na Figura 16 podem-se comparar as temperaturas entre os anos de estudo.

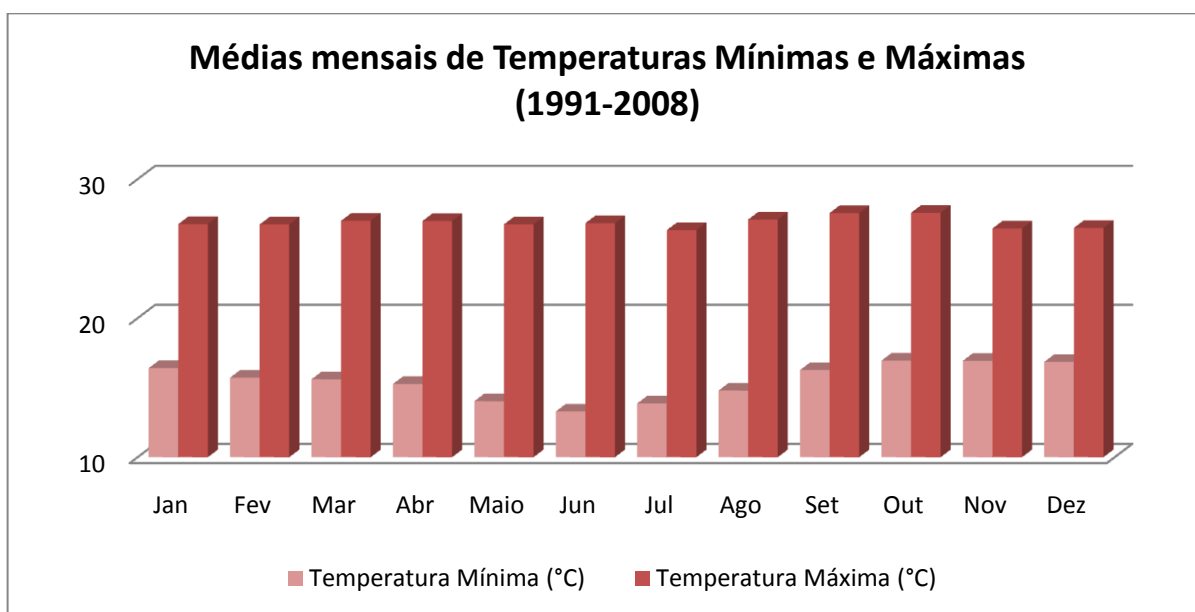


Figura 15 - Médias mensais de temperaturas mínimas e máximas correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET 2011).

As temperaturas mínimas durante o ano, segundo a análise dos dados, podem variar até 3,6 °C, ou seja, 13,3 °C e 16,9 °C, respectivamente nos meses de junho e outubro. As temperaturas máximas observadas são mais constantes ao longo dos meses apresentando no máximo uma variação de 1,3 °C. Ou seja, mesmo no inverno ocorrem temperaturas tão altas

quanto no verão durante o dia, porém as temperaturas mínimas oscilam mais durante o ano, e caem, principalmente durante a noite no inverno.

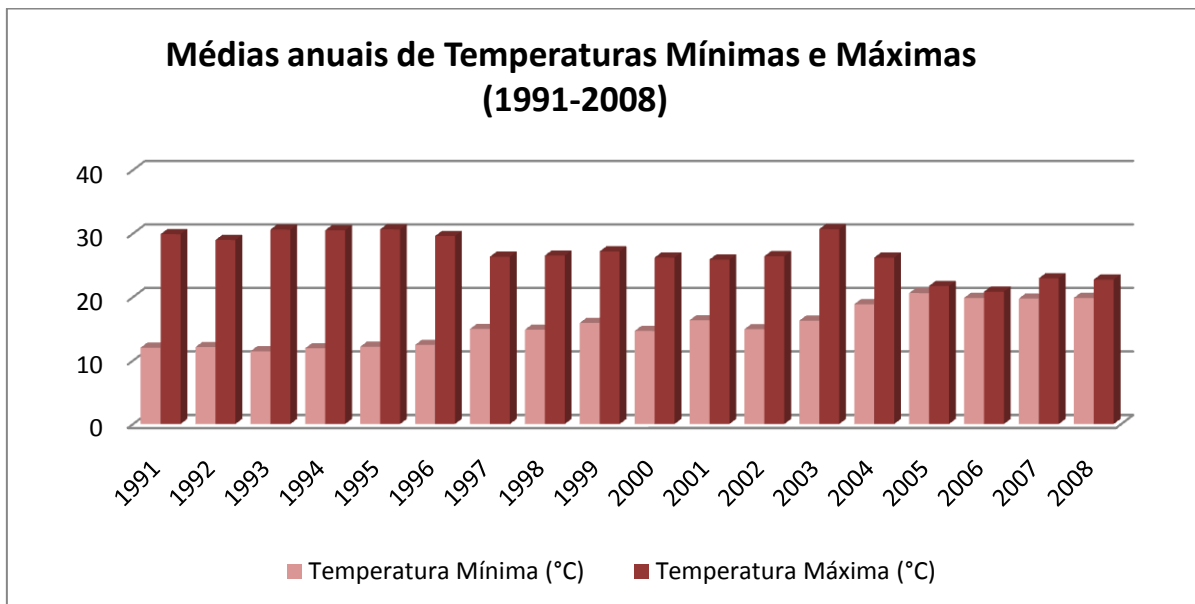


Figura 16 - Médias anuais de temperaturas mínimas e máximas dos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).

Observa-se no gráfico anterior, quando apresentado as médias das temperaturas durante os anos estudados, um acréscimo linear nas temperaturas mínimas, e um decréscimo significativo nas temperaturas máximas ao longo dos anos. Ou seja, entre o ano de 1991 e 2008 houve um aumento de quase 8 °C nas temperaturas mínimas observadas. A mesma comparação feita aos anos de 1991 e 2008 em relação às temperaturas máximas observadas chegou a aproximadamente 7 °C de diferença. Ainda assim, as médias anuais calculadas apenas com a mínima e a máxima diária apresentam uma grande similaridade durante os anos de estudo. Por exemplo, a média de 1991 foi de 21 °C e a de 2008 de 21,3 °C.

O cenário apresentado pela radiação solar incidente está apresentado na Figura 17 e mostra o comportamento da radiação solar ao longo dos meses do ano.

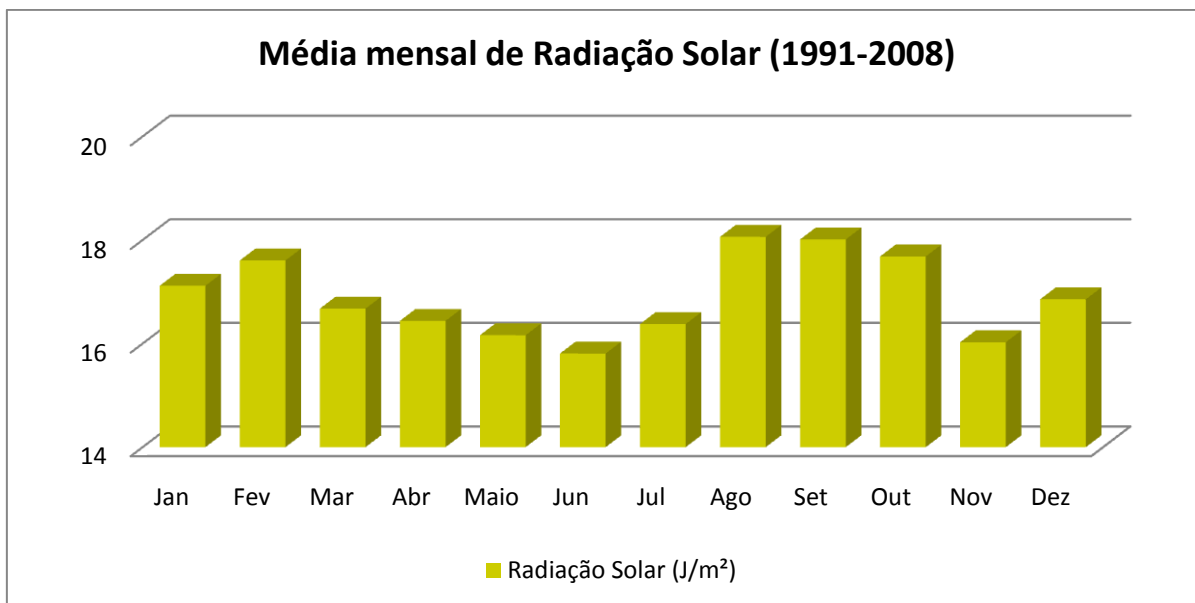


Figura 17 - Médias mensais de radiação solar correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).

Nota-se uma pequena variação entre os valores de radiação ao longo dos meses, isso possivelmente se deve a inclinação do eixo de rotação da Terra. Isto significa que o ângulo de elevação do Sol para uma dada hora do dia varia no decorrer do ano. A quantidade total de radiação solar recebida depende não apenas da duração do dia, mas também da distância do Sol.

A distância do Sol influencia a intensidade de radiação solar de duas maneiras: quando os raios solares atingem a Terra verticalmente, eles são mais concentrados; e quando menor a distância solar, mais espalhada e menos intensa a radiação.

No hemisfério sul a posição mais próxima ao Sol, o perihélio é atingida em janeiro e o ponto mais distante, o afélio em julho. As variações na radiação solar recebida em função da distância Terra-Sol são pequenas. No caso de estudo, essa diferença foi de 0,7 J/m² entre o perihélio e o afélio.

No dia 21 ou 22/12 os raios solares incidem verticalmente em 23°27'S (Trópico de Capricórnio). Este é o solstício de verão para o Hemisfério Sul. Em 21 ou 22/6 eles incidem verticalmente em 23°27'N (Trópico de Câncer). Este é o solstício de inverno para o Hemisfério Sul.

Em suma, a área de estudo no verão recebe maior quantidade de energia solar próximo do solstício de dezembro (quando inicia o Verão), os raios solares incidem perpendicularmente sobre o Trópico de Capricórnio (menor ângulo de incidência), pelo que atingem a área com maior inclinação. Além disso os dias têm maior duração, aumentando o tempo de exposição aos raios solares (insolação).

Quando se inicia o Inverno (solstício de Junho), o sol incide na vertical sobre o Trópico de Cancer, pelo que na área de estudo a inclinação dos raios solares é menor (ou seja ângulo de incidência maior) e a duração dos dias são menores. A BHCC recebe, então, menor quantidade de energia solar, como pode ser observado na figura anterior.

A umidade relativa do ar (UR) apresenta grandes variações durante os meses do ano, conforme a Figura 18.

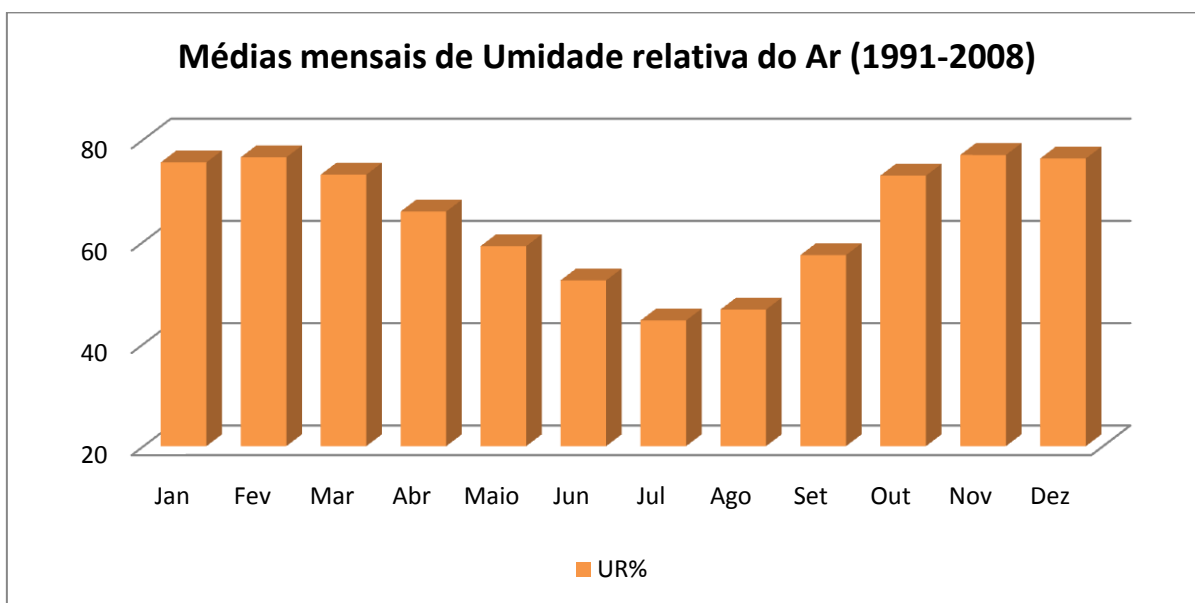


Figura 18 - Médias mensais de umidade relativa do ar, correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).

Essa queda durante a estação de inverno, possivelmente é dada pela escassez, ou em muitos anos inexistência de precipitações durante o período.

As médias de UR oscilam até 32% entre os meses de julho e novembro, onde apresentam os menores e maiores índices. Observa-se ainda uma grande variação na umidade durante o dia, e.g, no mês de julho os dados diários de umidade variaram em média de 85% no início da manhã a 30% no início da noite.

O comportamento da UR ao longo dos anos de estudo está apresentado na Figura 19 e demonstra maior regularidade entre os dados anuais.

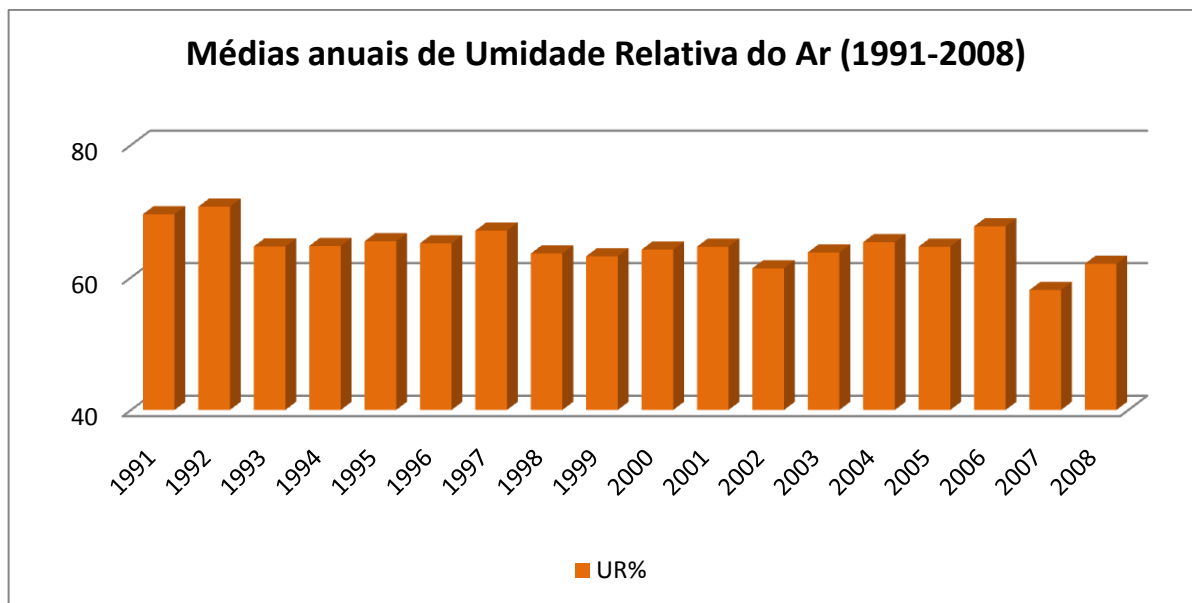


Figura 19 - Médias anuais de umidade relativa do ar referente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).

Entre os anos estudados, a menor média de UR observada foi de 58% no ano de 2007. O menor dado médio diário registrado foi de 19% e com freqüentes ocorrências principalmente nos meses de agosto e setembro. As maiores médias anuais registradas durante o período foi de 71% no ano de 1992 e de 70% no ano de 1991.

A velocidade do vento durante os meses do ano está apresentada na Figura 20, enquanto a ocorrência média das velocidades do vento em relação aos demais anos está apresentada na Figura 21.

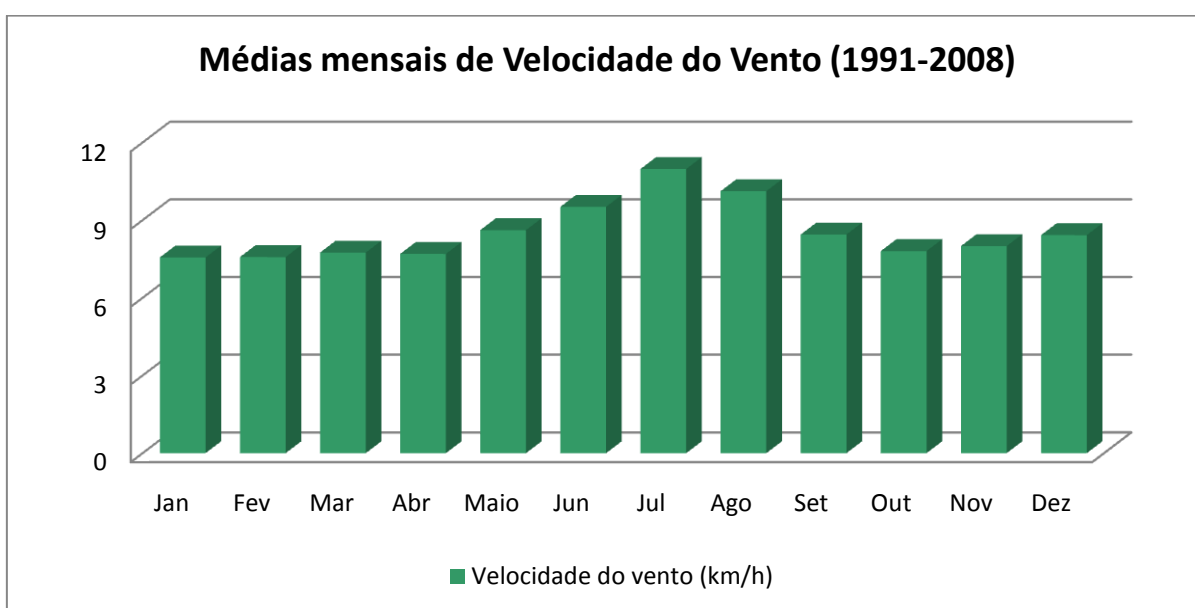


Figura 20 - Médias mensais de velocidade do vento, correspondente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).

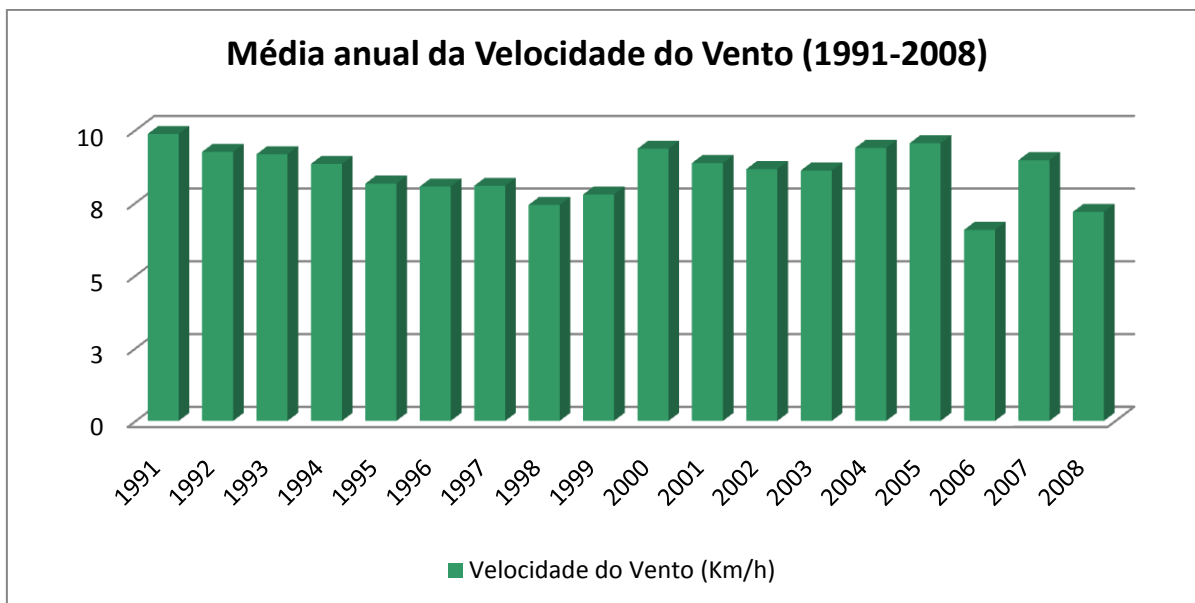


Figura 21 - Médias anuais de velocidade do vento, referente aos anos de 1991 a 2008 (Fonte: INMET, 2011).

A velocidade média do vento apresenta diferenças entre os meses do ano, e.g, o mês de julho apresenta uma média de 11 km/h, já no mês de fevereiro essa média cai para 7 km/h. Neste período entre os anos de 1991 e 2008 a velocidade de vento diária mais alta observada foi de aproximadamente 34 km/h.

Observa-se ainda uma similaridade entre as velocidades médias do vento durante os anos observados. Apenas uma disparidade no ano de 2006 com um déficit de aproximadamente 2 km/h da média observada nos demais períodos. O que pode não indicar uma diferença significativa, não podendo inferir em nenhuma anormalidade no comportamento desta variável na área de ocorrência.

As análises dos dados climatológicos requeridos pelo SWAT representadas através das figuras anteriores podem enfatizar a diferenciação que ocorrem nas duas estações definidas (seca e chuvosa) dos comportamentos dos parâmetros climáticos analisados. Ou seja, as maiores diferenças são observadas entre os meses da estação seca (maio a setembro) e os meses da estação chuvosa (outubro a abril).

5.1.9 Vazão

Segundo estudos realizados por Lopes (2010), a determinação da vazão na BHCC foi obtida pela equação do tipo potencial que é largamente utilizada para ajustar esses dados:

$$Q = a \times (h - h_0)^b$$

Em que, Q é a vazão (m^3/s); h é a leitura da régua (m); a e b são constantes a serem determinadas assim como h_0 que corresponde ao valor de h para a vazão zero. A figura apresenta a curvas “Cota (h) x Descarga (Q)” encontrada para a tendência, utilizando a equação do tipo potencial.

A equação potencial que descreve as curvas teve um erro médio de 0,09 e está apresentada a seguir:

$$Q = 1,0716 \times (h - 1,2324)^{0,7727}$$

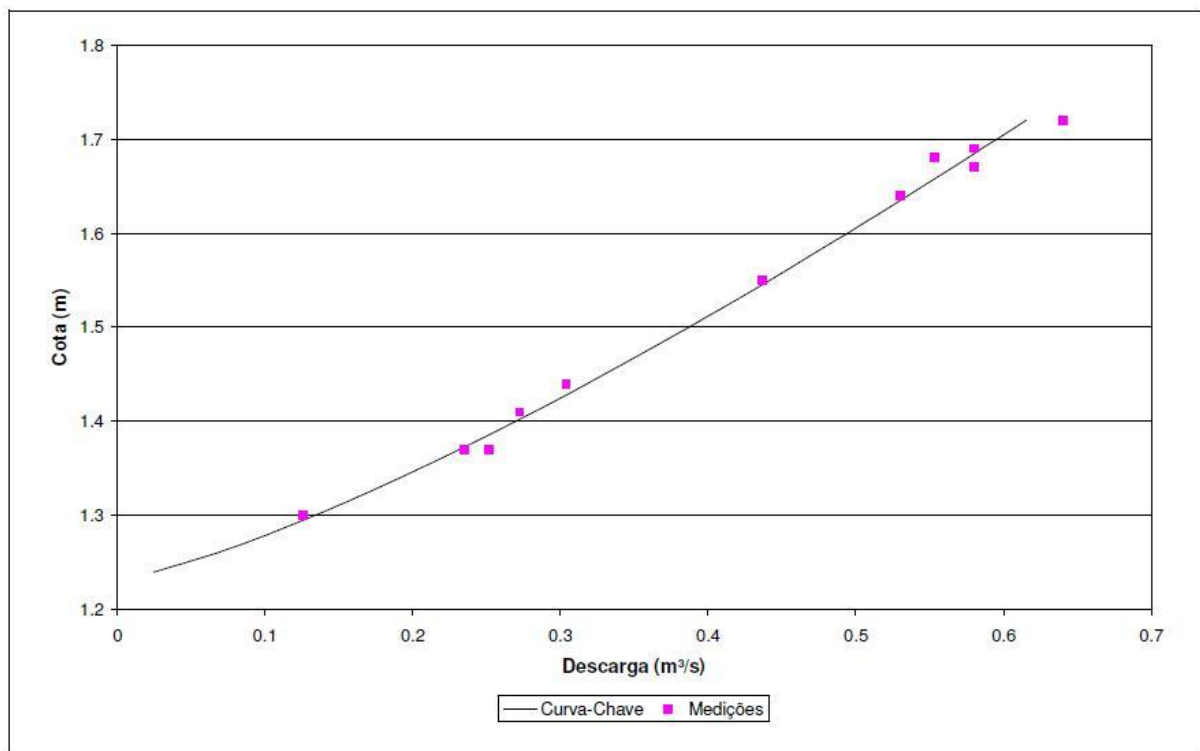


Figura 22 – Curva-chave do córrego Capão Comprido.

Após os cálculos de vazão foi gerada a Figura 23, a qual apresenta a vazão observada (real), a vazão gerada (calculada) pelo SWAT através dos dados climáticos inseridos e a precipitação real, no período de 01/01/2003 a 31/12/2005.

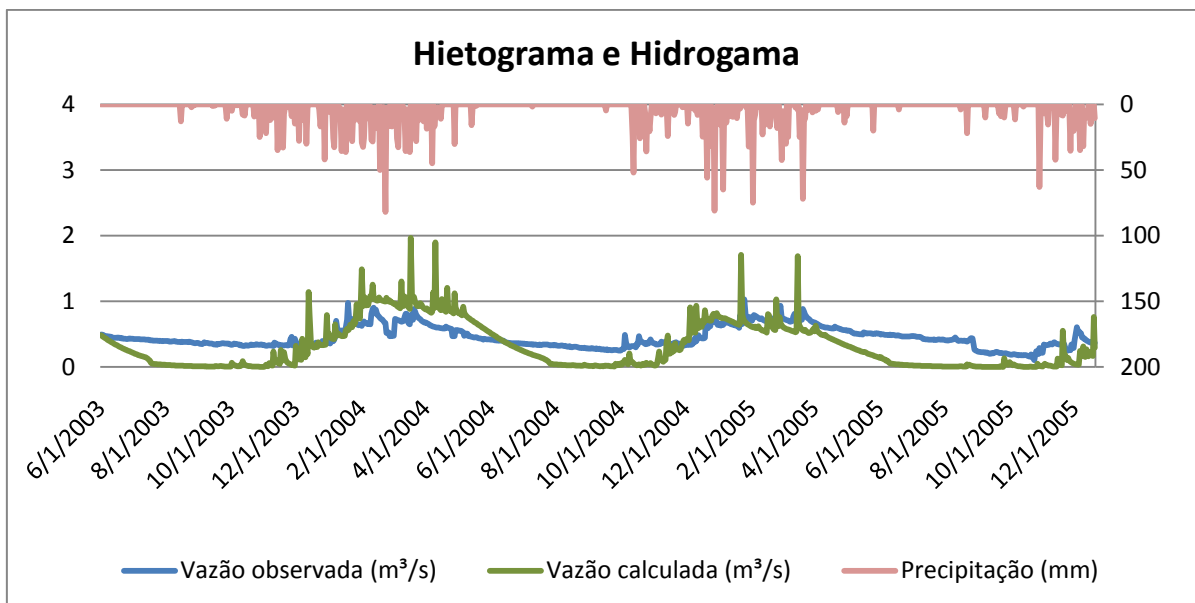


Figura 23 – Comparação da vazão calculada pelo SWAT e observada diante da precipitação no período de 01 de março de 2003 a 31 de dezembro de 2005.

Ao analisar o gráfico, pode-se inferir uma diferença visual entre os dados observados na BHCC e os dados gerados pelo SWAT, se fazendo assim necessário um ajuste entre o modelo e o que ocorre na realidade. Essa diferença é evidente principalmente quando ocorrem os picos de precipitação, sendo que o SWAT gera picos mais altos de vazão, com valores diferentes do que ocorre na bacia, superestimando os dados nessa situação, enquanto subestima em períodos de pouca precipitação. Porém, o valor médio de vazão durante esse período de tempo calculado pelo SWAT foi de $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto o real foi de $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$, evidenciando uma maior permanência das vazões de estiagem nos valores observados.

5.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade foi realizada para 26 parâmetros do modelo SWAT, totalizando 270 simulações. Os efeitos finais da variação dos parâmetros foram hierarquizados por ordem de influência e estão apresentados na Tabela 3. A descrição dos parâmetros foi baseada no manual do SWAT (Neitsh *et al.*, 2005).

Cada parâmetro tem um valor no *ranking* definido após a análise. Um menor valor no *ranking* indica uma maior influência do parâmetro sobre o resultado final da simulação para determinada variável, neste caso, a vazão.

Variáveis com ranking cujo valor é de 27 não exercem nenhuma influência sobre o valor final do parâmetro analisado.

Tabela 3 - Descrição dos parâmetros e ranking de cada uma das variáveis após a realização da Análise de Sensibilidade do modelo SWAT.

Ranking	Parâmetro	Descrição
1	Esco	Fator de compensação da evaporação do solo
2	Alpha_Bf	Fator alfa do fluxo de base (dias)
3	Gw_Delay	Retardo do escoamento subterrâneo
4	Sol_Z	Profundidade do solo (mm)
5	Ch_K2	Condutividade hidráulica efetiva do canal (mm/ano)
6	Blai	Índice máximo de área foliar
7	Sol_Awc	Capacidade de água disponível (mm H ₂ O / mm solo)
8	Cn2	Valor do curva número inicial do Soil Conservation Service
9	Sol_K	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
10	Gwqmn	Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
11	Slope	Declividade média mais acentuada (mm/m)
12	Epc	Fator de compensação da retirada das plantas
13	Gw_Revap	Coefficiente de re-evaporação da água subterrânea
14	Canmx	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
15	Ch_N2	Coefficiente de Manning do canal principal
16	Surlag	Tempo de retardo do escoamento superficial
17	Slsbbsn	Comprimento da declividade média (m)
18	Biomix	Eficiência da mistura biológica
19	Sol_Alb	Albedo do solo
27	Revapmn	Profundidade de água limite no aquífero raso (mm)
27	Timp	Fator de retardo da temperatura do bloco de neve
27	Sftmp	Temperatura da neve (°C)
27	Smfmn	Fator de derretimento da neve em dezembro (mmH ₂ O/°C/dia)
27	Smfmx	Fator de derretimento da neve em junho (mmH ₂ O/°C/dia)
27	Smtmp	Temperatura de base para derretimento de neve (°C)
27	Tlaps	Taxa de variação da temperatura (°C/km)

5.3 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

5.3.1 Cenário 1

O cenário 1, apresentado na Figura 24, simulou a área antes da construção de Brasília, fato que ocasionou a ocupação da BHCC e diferenciou seu uso. Foi um cenário sem ação antrópica, apenas apresentando paisagem nativa da região como cerrado, cerradão e mata ciliar. As respectivas áreas (km²) e porcentagens ocupadas pelo uso e ocupação estão designadas na Tabela 4.

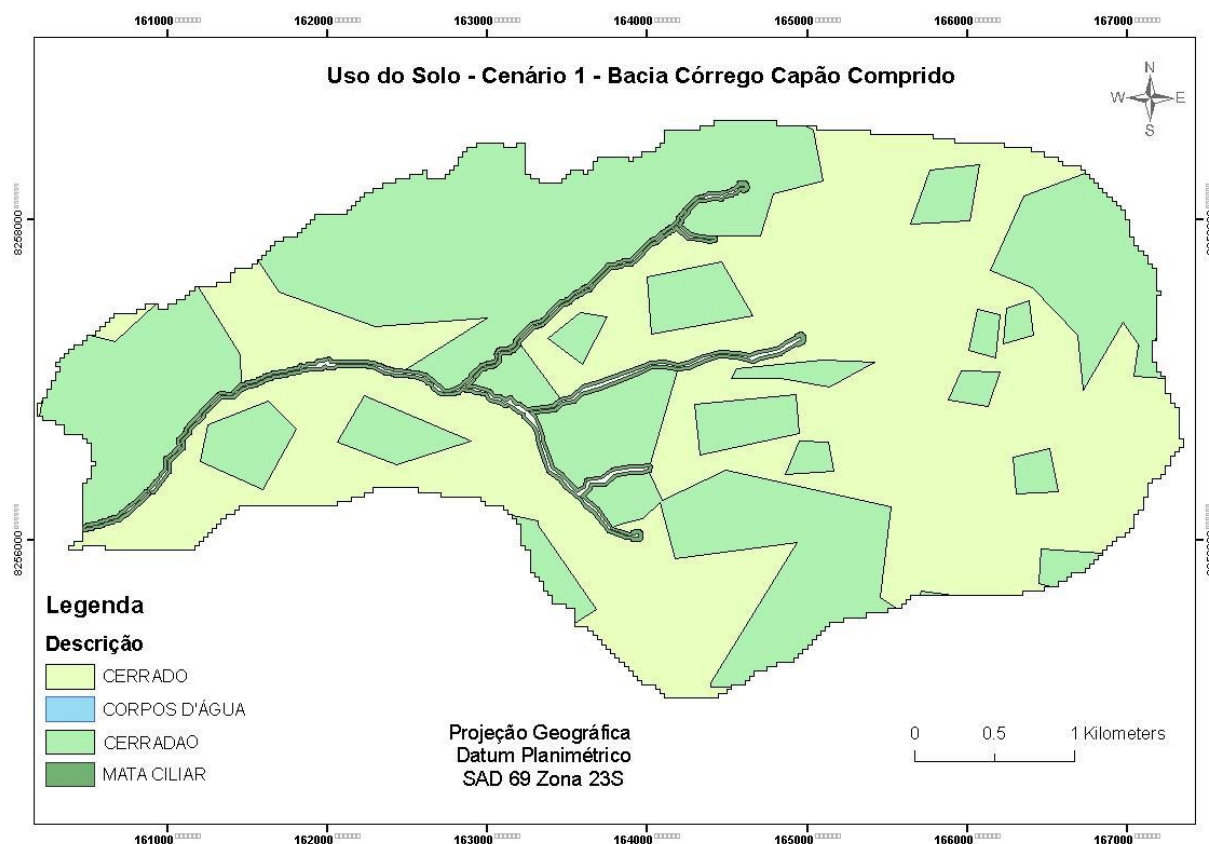


Figura 24 – Mapa de uso e ocupação do solo no cenário 1.

Tabela 4 – Distribuição das áreas do cenário 1

Uso do Solo – Cenário 1		
Descrição	Área (km ²)	Área (%)
Corpo d'água	0.10	0.62
Mata ciliar	0.39	2.33
Cerradão	7.35	44.23
Cerrado	8.77	52.82
Total	16.6	100.00

5.3.2 Cenário 2

O cenário 2 aqui tratado é o cenário atual, ou seja, o uso atual do solo, e os demais parâmetros climatológicos observados. O uso do solo para a simulação do cenário 2 foi apresentado no item 5.1.6.

5.3.3 Cenário 3

O cenário 3, apresentado na Figura 25, simulou um possível futuro da área. Um cenário em estágio avançado de ocupação, com total uso agrícola e urbano. As respectivas áreas (km²) e porcentagens ocupadas pelo uso e ocupação do cenário 3 estão designadas na Tabela 5.

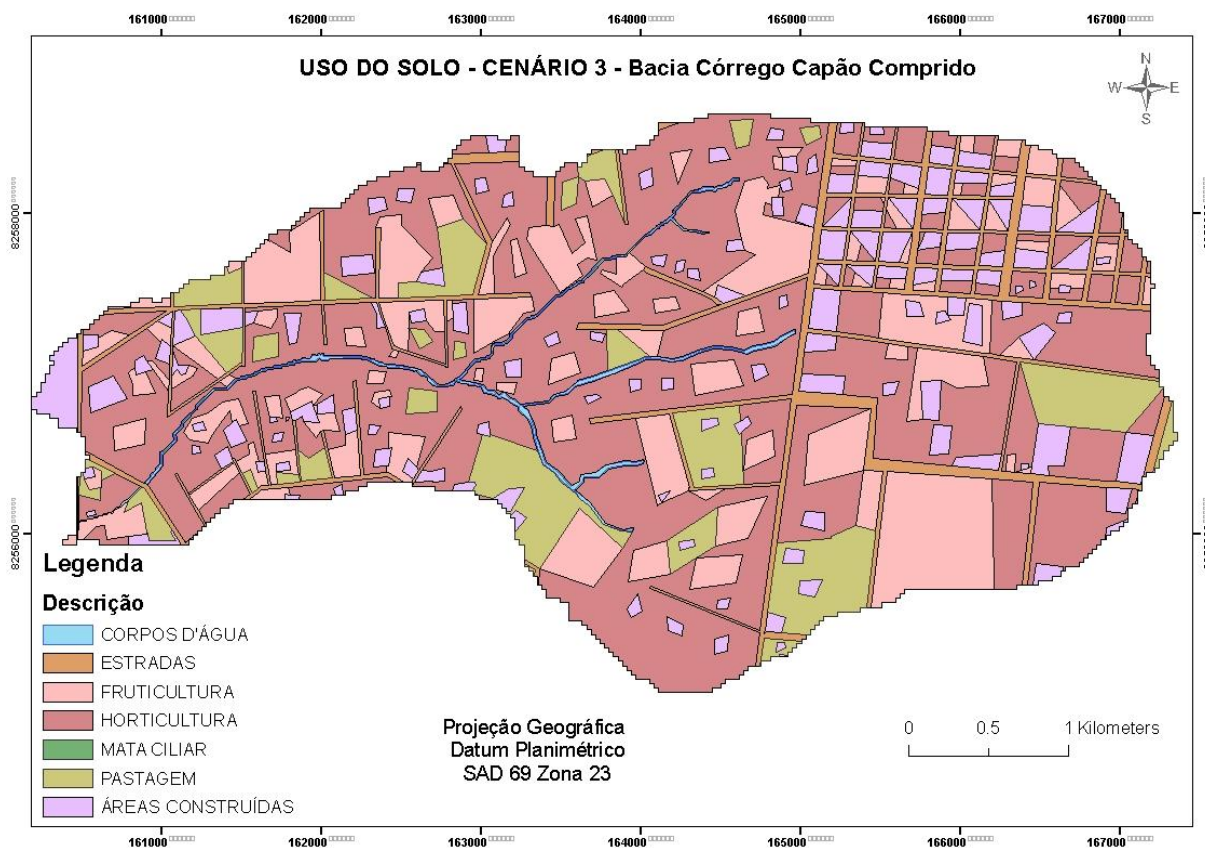


Figura 25 – Mapa de uso e ocupação do solo no cenário 3.

Tabela 5 – Distribuição das áreas do cenário 3

Uso do solo – Cenário 3		
Descrição	Área (km ²)	Área (%)
Estradas	1.44	8.66
Área construída	1.77	10.67
Corpo d'água	0.10	0.62
Mata ciliar	0.09	0.54
Fruticultura	3.42	20.59
Olericultura/Horticultura	8.05	48.49
Pastagem	1.73	10.43
Total	16.6	100.00

5.4 RESULTADOS GERADOS PELO SWAT NA SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

5.4.1 Balanço hídrico

Nas Figura 26, Figura 27, e Figura 28, são apresentadas as estimativas de componentes do balanço hídrico em função dos três cenários de uso do solo simulados.

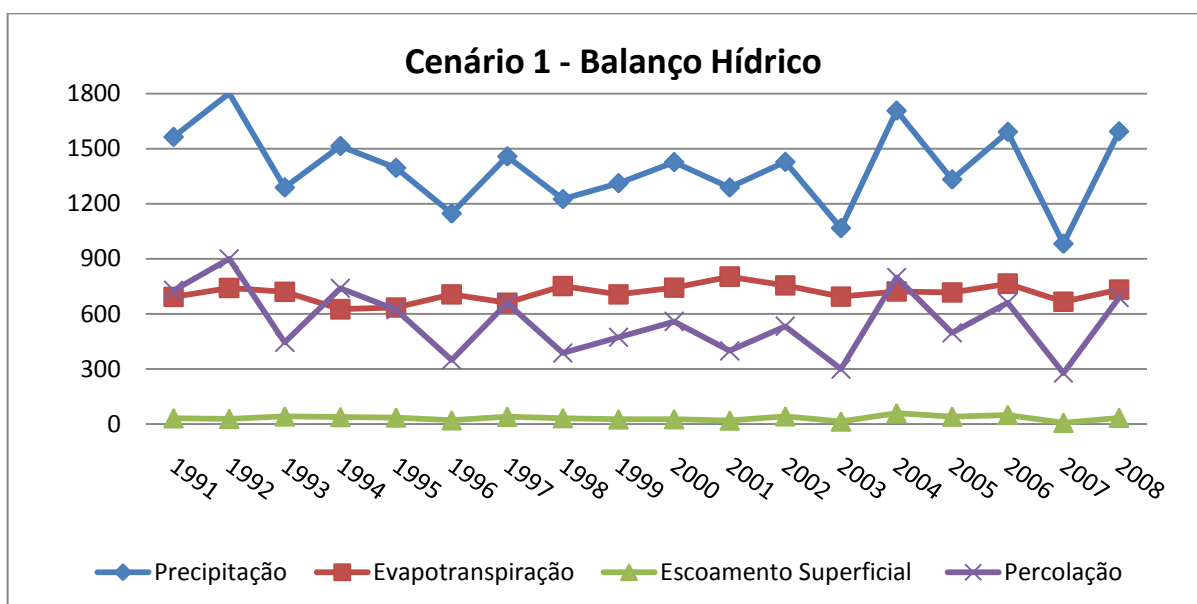


Figura 26 - Respostas dos componentes do balanço hídrico em relação ao uso e ocupação do cenário 1.

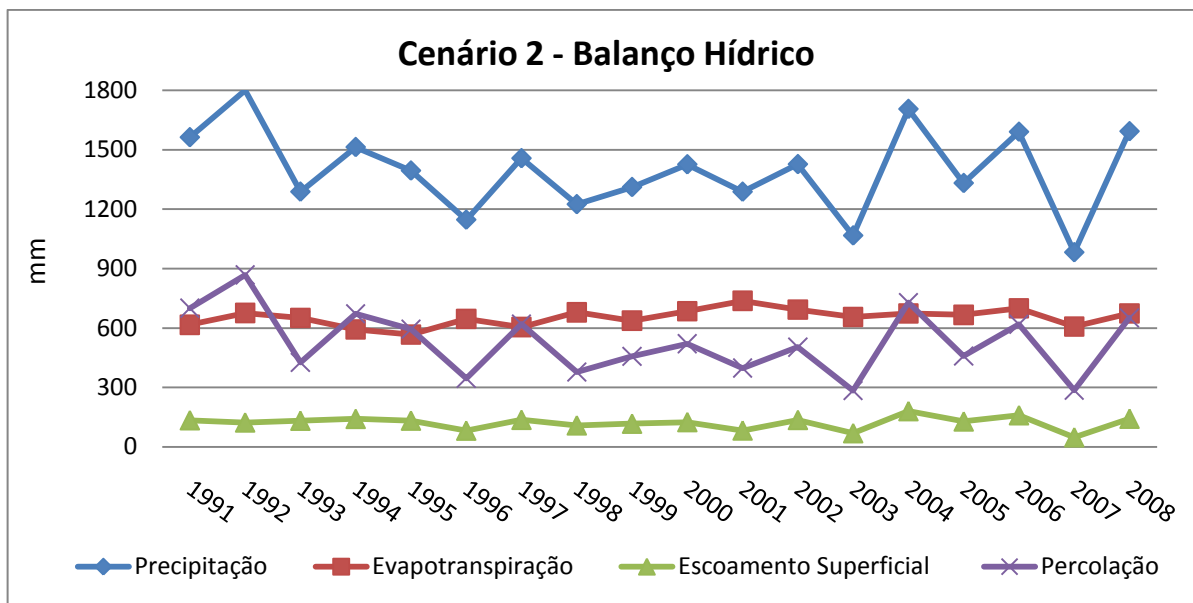


Figura 27 - Respostas dos componentes do balanço hídrico em relação ao uso e ocupação do cenário 2.

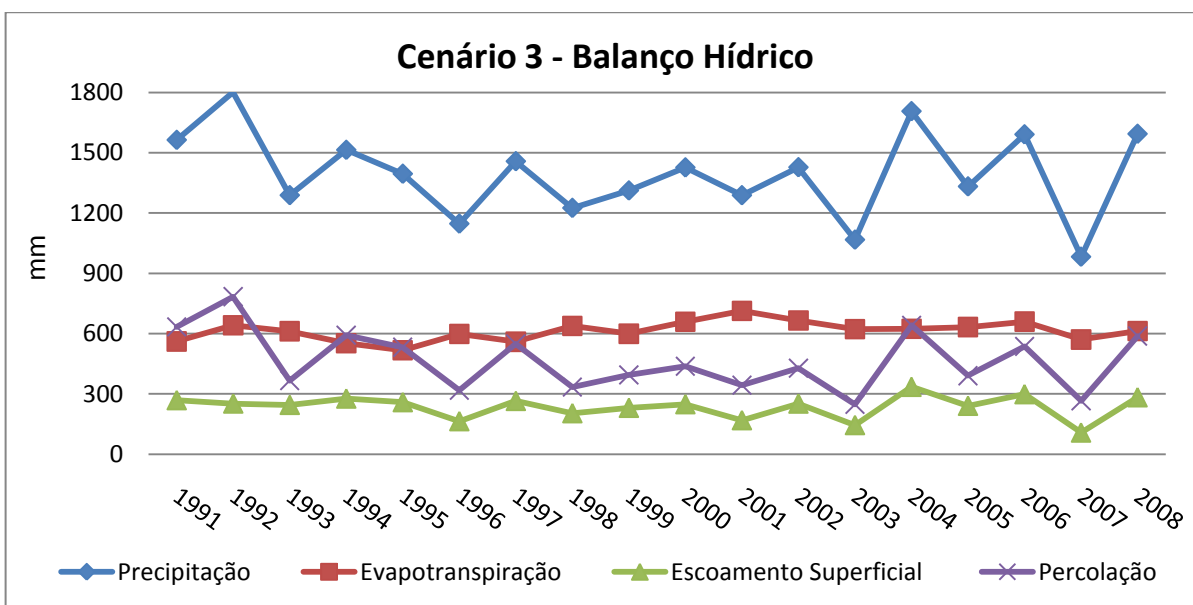


Figura 28 - Respostas dos componentes do balanço hídrico em relação ao uso e ocupação do cenário 3.

Apresentam-se na sequência os resultados das análises estatísticas dos resultados gerados pelos diferentes cenários.

Pode-se inferir que houve diferenças significativas entre alguns componentes do balanço hídrico nos diferentes cenários, mesmo sendo a mesma área, mesmos dados climáticos e mesma declividade, i.e., o uso do solo foi o fator de influência nesse balanço.

A evapotranspiração - ET não apresentou diferenças que pudessem ser ressaltadas entre os cenários. Na Figura 29 vê-se a similaridade dos resultados e pela variação do desvio padrão a disparidade não pôde ser constatada.

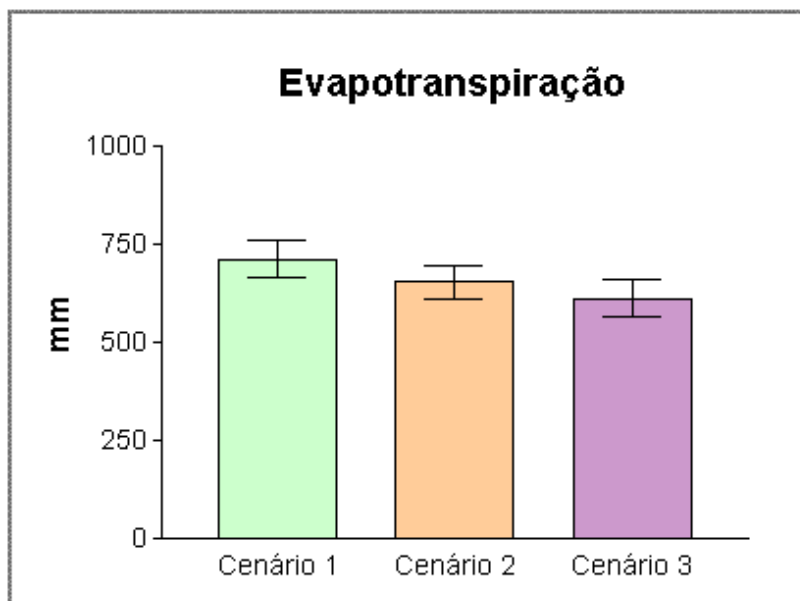


Figura 29 - Resultado estatístico da evapotranspiração (média \pm desvio padrão da média) consoante a 18 anos de dados diários, obtidos nos diferentes cenários. $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey).

Porém, levando em consideração os resultados deste estudo, os valores máximos e mínimos nos diferentes períodos e cenários ocorrem proporcionalmente e similarmente, ou seja, quando ocorre uma variação para mais ou para menos em um parâmetro, ocorre o mesmo, com menos ou com mais intensidade em outro. Os diferentes cenários são influenciados, ao longo do tempo, sempre pelos mesmos dados climáticos. Portanto, o desvio padrão quando analisado separadamente para mais ou para menos nos cenários, observa-se uma mínima diferença apresentada pelo cenário 1 entre os demais.

Essa similaridade ou pequena diferença verificada, talvez possa ser explicada sendo que a evaporação, parte da ET, continuou similar para os cenários, sendo que usos de solo cobertos, ou por urbanização ou por agricultura também apresentam uma boa porcentagem de evaporação, até mesmo por manterem maiores temperaturas. Entretanto, a transpiração pode ter apresentado uma pequena oscilação, basicamente pela área foliar maior no uso do cenário 1, mas supostamente não o suficiente para diferenciar drasticamente a evapotranspiração total da bacia.

A percolação, possivelmente por estar intimamente ligada ao tipo de solo, a capacidade de campo e a precipitação (correlação de 0,97), e por esses componentes terem sido adotados iguais nos diferentes cenários, não apresentou diferença estatística. A média de percolação nos cenários foram de 555,73 mm, 528,20 mm e 465,70 mm, respectivamente para os cenários 1, 2 e 3, com uma diferença considerável. No entanto o desvio padrão foi

expressivamente alto, fazendo com que essa diferença não seja estatisticamente significativa (Figura 30).

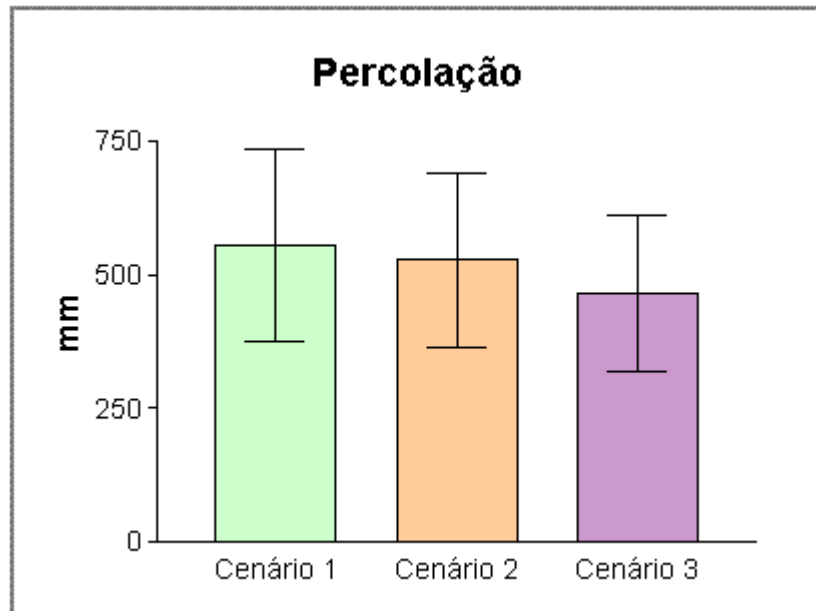


Figura 30 - Resultado estatístico da percolação (média \pm desvio padrão da média) consoante à 18 anos de dados diários, obtidos no diferentes cenários $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey).

O escoamento superficial é apresentado na Figura 31, para comparação dos valores entre os cenários. E as diferenças estatísticas apresentadas na Figura 32.

Sendo que o escoamento superficial é o excesso da água da chuva que flui ao longo da área de drenagem em direção ao canal principal, como se esperava, os maiores picos de escoamento, em ambos cenários, se deram durante os anos de maior precipitação, e.g., em 2004, quando ao longo do ano choveu 1.706 mm, enquanto a média dos 18 anos foi de 1.390 mm.

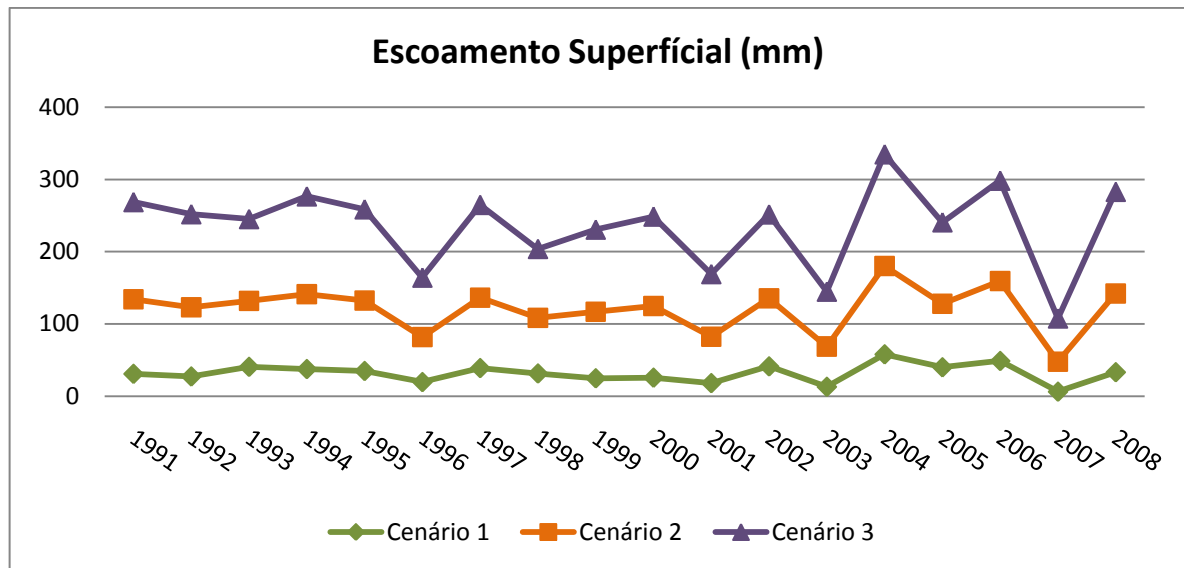


Figura 31 - Comparação do escoamento superficial gerado pelos diferentes cenários.

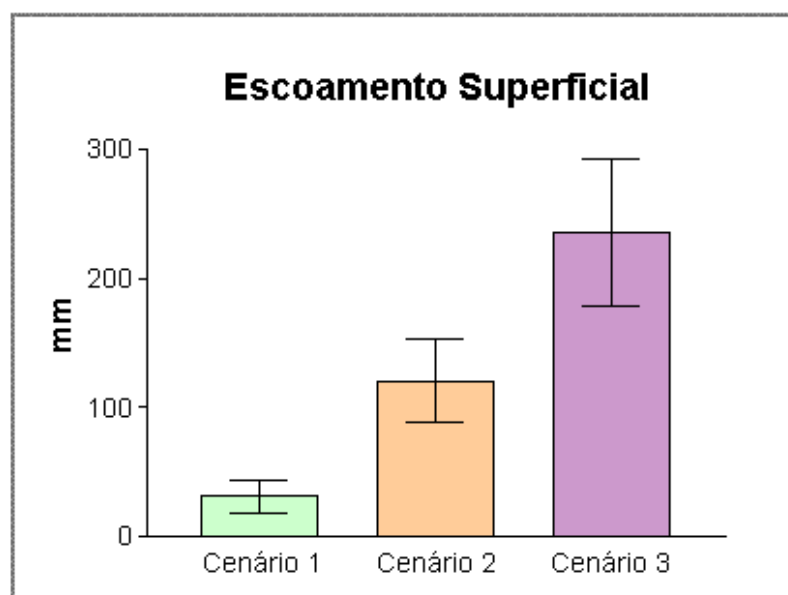


Figura 32 - Escoamento superficial médio anual (18 anos/cenário), (média \pm desvio padrão), $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey).

As médias anuais do escoamento superficial nos cenários 1, 2 e 3 foram respectivamente, 31,73 mm, 120,77 mm e 235,67 mm, e o desvio padrão mínimo, apresentado pelo cenário 1, foi de 12,7 e o máximo, apresentado pelo cenário 3, foi de 57,6. Portanto, o cenário 3, ao apresentar um tipo de uso de solo com plena ocupação urbana e agrícola, oscila expressivamente uma maior quantidade de escoamento superficial com o passar dos anos. E, mesmo o escoamento superficial apresentando uma boa correlação com os índices de chuva, $R^2 = 0,87$, mostrou-se expressivamente dependente do uso e ocupação do solo.

O cenário 2, atual, se manteve com um valor intermediário entre os dois cenários extremos.

A modelagem mostrou que o uso e ocupação do solo alteraram significativamente o escoamento superficial.

O comportamento da vazão nas simulações com base no cenário 1 apresentou um acréscimo de 12,12% no cenário 2 e 18,18% no cenário 3. Esse aumento é devidamente ao expressivo aumento observado no escoamento superficial. E pode ser observado na Figura

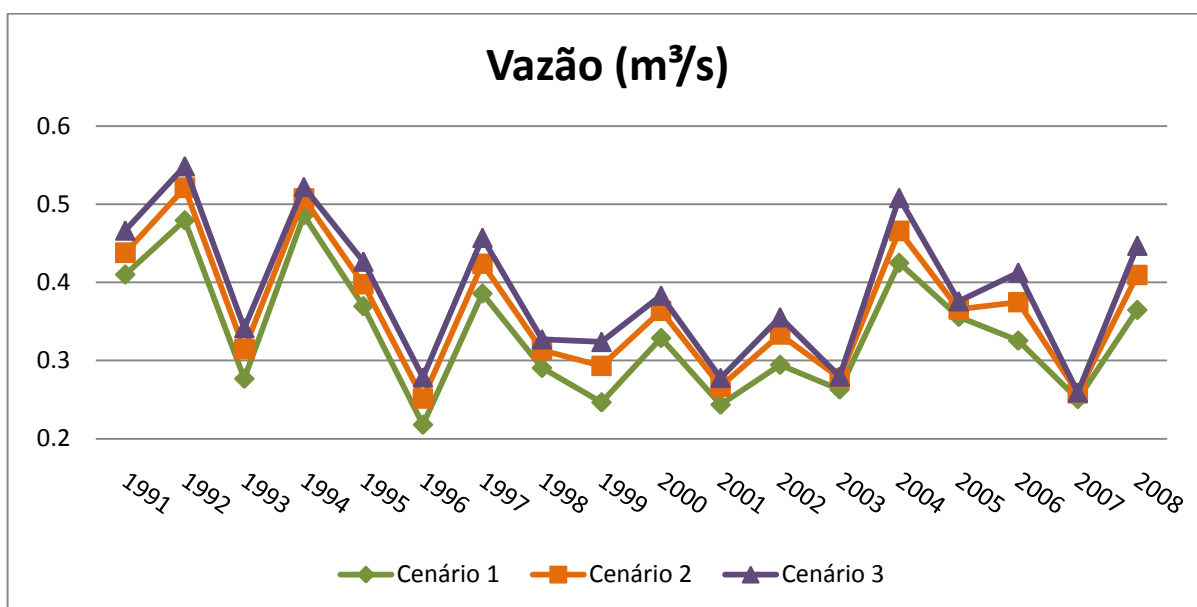


Figura 33 - Comparação da vazão gerada pelos diferentes cenários na BHCC.

5.4.2 Balanço sedimentológico

A produção de sedimentos caracteriza-se como uma das importantes incógnitas que precisam ser determinadas nas pequenas bacias hidrográficas. Sua importância está associada não só ao aspecto relacionado com a eficiência de práticas agrícolas desenvolvidas na bacia relacionando-as à perda de solo agrícola, mas também ao estudo da determinação da carga de assoreamento em reservatórios para uma estimativa de sua vida útil.

Nas Figura 34, Figura 35 e Figura 36 são apresentados os resultados da produção de erosão (Musle) e de sedimentos que chegaram ao canal principal, anualmente.

A correlação entre o processo de erosão e a produção de sedimentos nos cenários foi de 0,97.

A produção de sedimentos não alcança o valor da carga erodida, pois parte da carga de sedimentos é assoreada durante o transporte, ao longo do percurso.

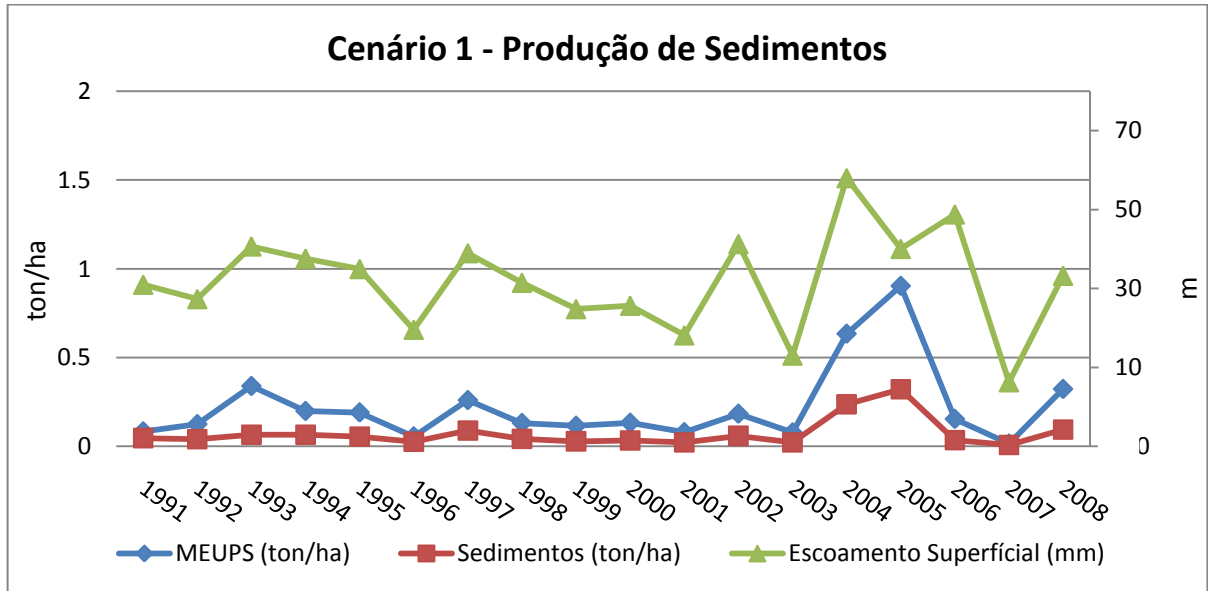


Figura 34 - Respostas dos componentes do balanço sedimentológico em relação ao uso e ocupação do cenário 1.

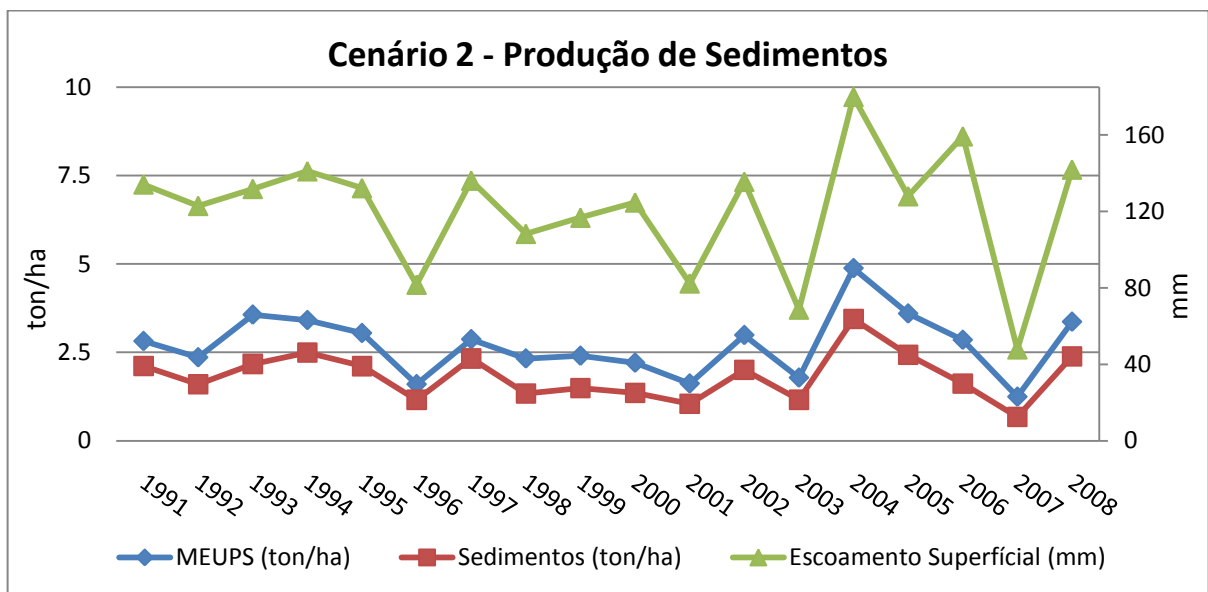


Figura 35 - Respostas dos componentes do balanço sedimentológico em relação ao uso e ocupação do cenário 2.

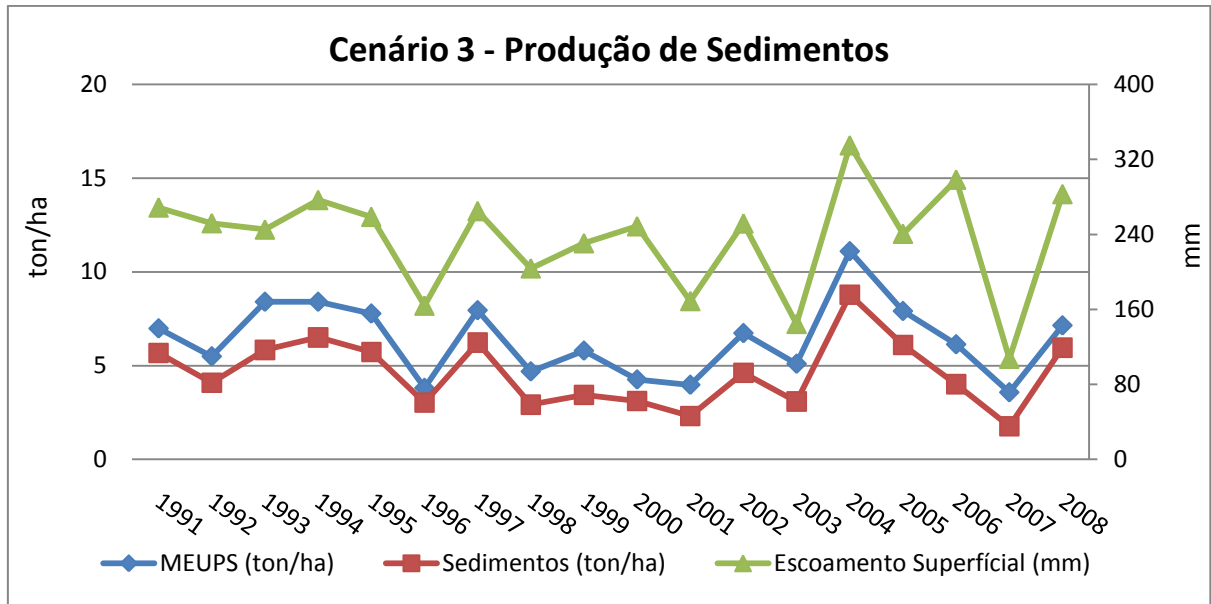


Figura 36 - Respostas dos componentes do balanço sedimentológico em relação ao uso e ocupação do cenário 3.

Ressalta-se também uma forte relação entre a erosão e o escoamento superficial, sendo que este implica diretamente na produção erodida e conseqüentemente na carga de sedimentos.

A diferença entre a quantidade de sedimentos produzida entre os cenários é bastante expressiva, como pode ser verificada na Figura 37, podendo apresentar uma variação de até 6.350%, quando comparadas as médias anuais dos cenário 1 e 3.

As médias de cargas de sedimentação simuladas nos diferentes usos e ocupação do solo foram: 0,07 ton/ha.ano no cenário 1; 1,83 ton/ha.ano no cenário 2; e 4,6 ton/ha.ano no cenário 3.

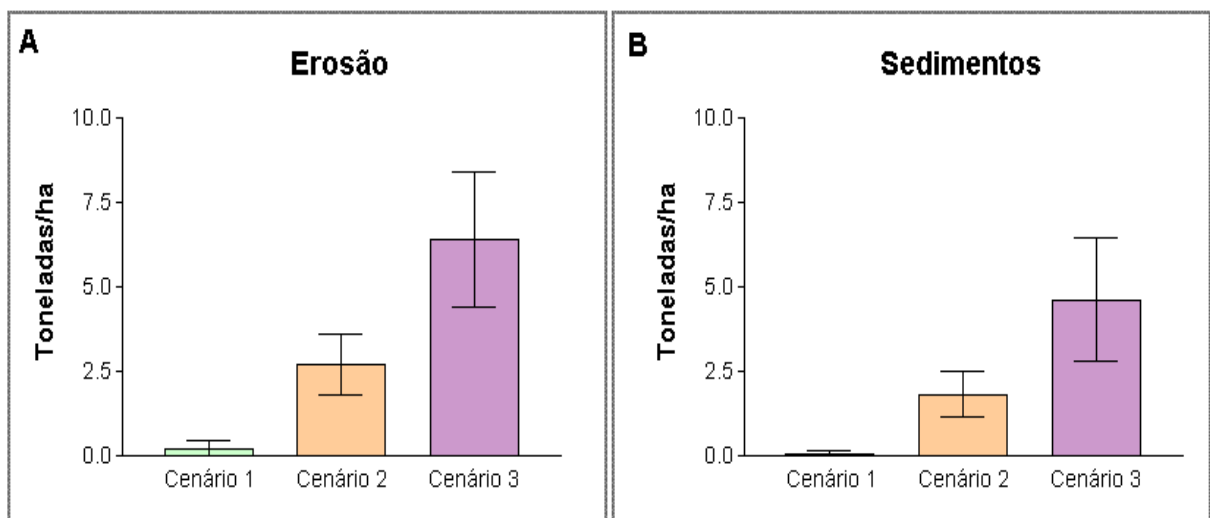


Figura 37 – Média de carga erodida (A) e de sedimentos (B) gerados por hectare na BHCC (média \pm desvio padrão), $P < 0,05$ (ANOVA seguido do teste Tukey), com base nos 18 anos de estudo.

Nota-se que há diferença significativa entre os 3 cenários, tanto na carga erodida quanto, conseqüentemente, na carga de sedimentos. Ou seja, a diferença relevante no escoamento superficial refletiu na produção de sedimentos. Por conseguinte, a diferenciação no cenário com base no uso do solo, intervém respectivamente nos processos erosivos, necessitando compreender esses processos e inferir a necessidade de um uso e manejo adequado e com respectivos estudos.

Pela Figura 38 pode-se analisar o total de erosão e sedimentação ocorrida nessa área ao longo desses 18 anos simulados (cenário 2), comparando supostamente, aos possíveis cenários 1 e 3 (Figura 39 e Figura 40).

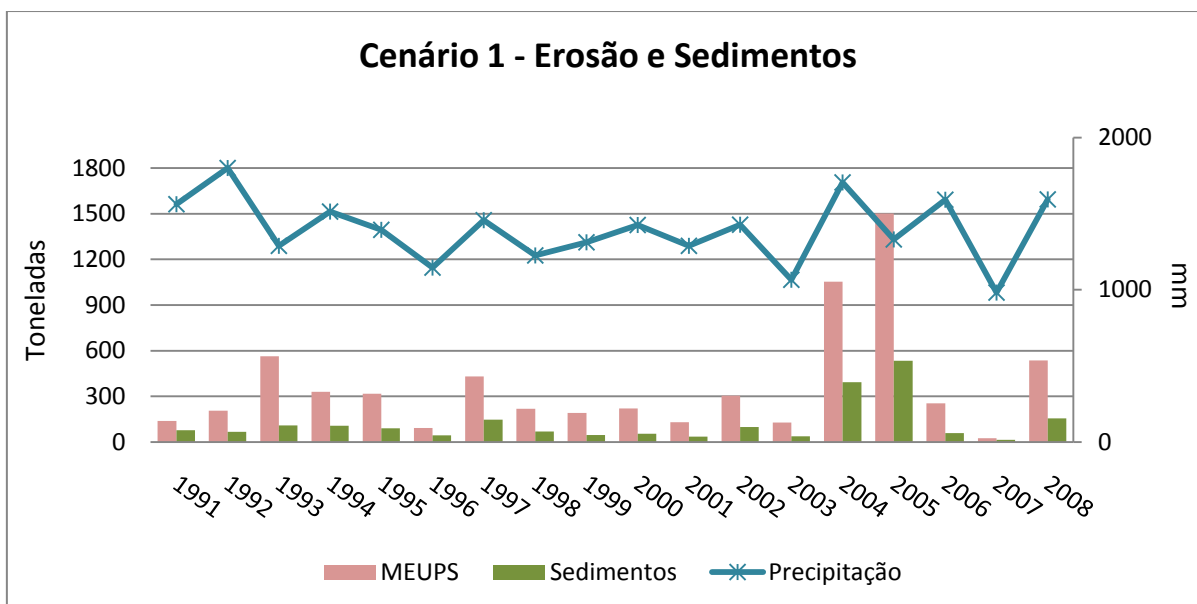


Figura 38 – Carga total de erosão e sedimentos gerada na BHCC ao longo de 18 anos com o uso e ocupação do Cenário 1.

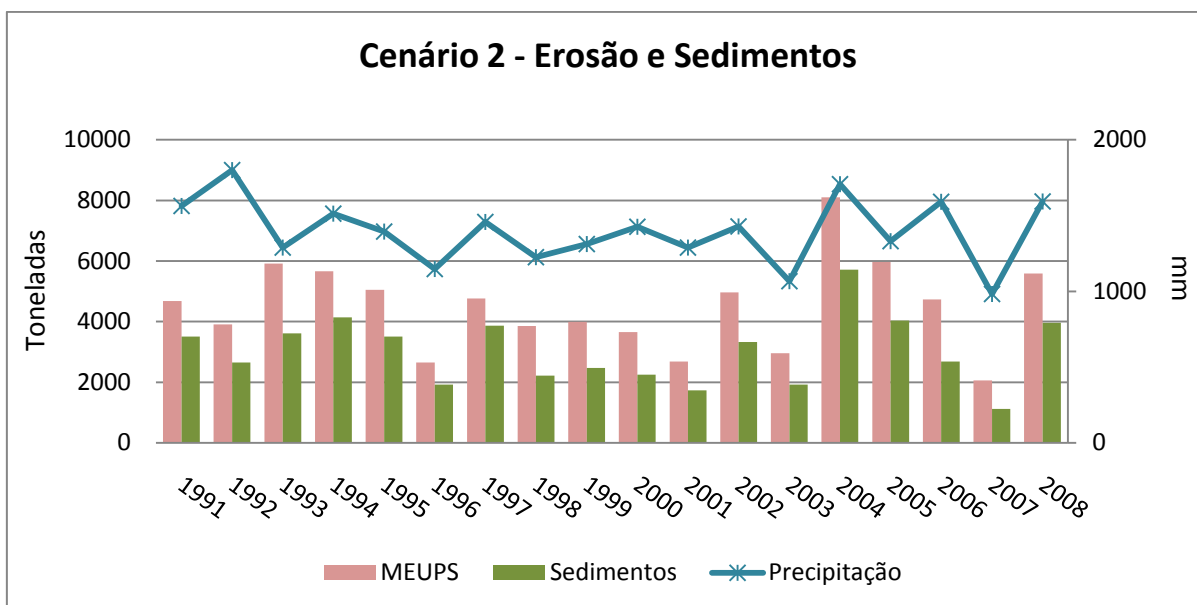


Figura 39 - Carga total de erosão e sedimentos gerada na BHCC ao longo de 18 anos com o uso e ocupação do Cenário 2.

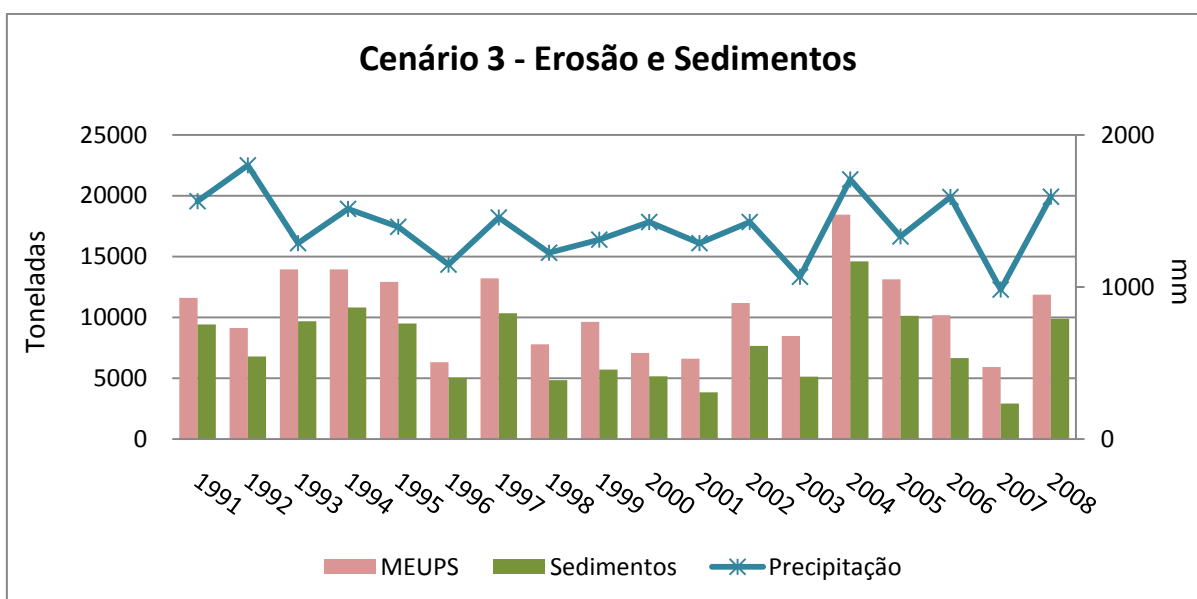


Figura 40 - Carga total de erosão e sedimentos gerada na BHCC ao longo de 18 anos com o uso e ocupação do Cenário 3.

Os dados de precipitação também apresentados nos gráficos anteriores, servem para demonstrar a correlação, já esperada, que houve entre a intensidade de precipitação e as cargas erodidas.

Assim, no atual caso, que supostamente a maior parte dos sedimentos transportados pelo corpo hídrico é advinda da erosão na bacia hidrográfica.

No processo de erosão, grande parte dos nutrientes de solos férteis para a agricultura também são removidos, resultando em uma queda nos recursos do solo e diminuindo assim seu potencial produtivo.

Além dos impactos nos recursos hídricos edáficos e na produtividade agrícola, a erosão e a produção de sedimentos pode influenciar intensivamente na qualidade e quantidade da água podendo provocar assoreamento do próprio canal ou de reservatório ao qual desemboca, como na BHCC.

A diferença entre a produção total de erosão e sedimentos nos distintos cenários é bastante significativa conforme apresentado na Tabela 6, onde são apresentados os resultados gerados em toneladas/ano e a soma total desses anos, de acordo com cada cenário. A Figura 41 e a Figura 42 apresentam graficamente a comparação desses resultados.

Tabela 6 – Cargas em toneladas de erosão e sedimentos produzidas na BHCC anualmente, de acordo com os diferentes cenários simulados.

Erosão e Sedimentos produzidos na BCC de acordo com os diferentes usos do solo						
	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
Ano	Erosão	Sedimentos	Erosão	Sedimentos	Erosão	Sedimentos
1991	139	77	4.677	3.506	11.593	9.416
1992	206	66	3.913	2.654	9.118	6.790
1993	563	108	5.919	3.608	13.951	9.693
1994	329	108	5.661	4.143	13.950	10.799
1995	317	90	5.054	3.505	12.909	9.507
1996	92	44	2.650	1.924	6.319	5.036
1997	432	148	4.764	3.865	13.201	10.341
1998	218	70	3.858	2.213	7.782	4.846
1999	192	47	3.988	2.470	9.621	5.699
2000	220	54	3.660	2.250	7.068	5.166
2001	131	37	2.684	1.735	6.597	3.831
2002	304	98	4.960	3.327	11.177	7.657
2003	129	38	2.958	1.927	8.462	5.123
2004	1053	394	8.102	5.717	18.432	14.587
2005	1500	533	5.970	4.033	13.131	10.123
2006	255	59	4.734	2.680	10.183	6.656
2007	24	14	2.063	1.116	5.930	2.925
2008	536	156	5.586	3.961	11.859	9.889
Média (ton/ano)	369	119	4.511	3.035	10.627	7.671
Total (ton)	7.008	2.260	85.712	57.670	201.911	145.757

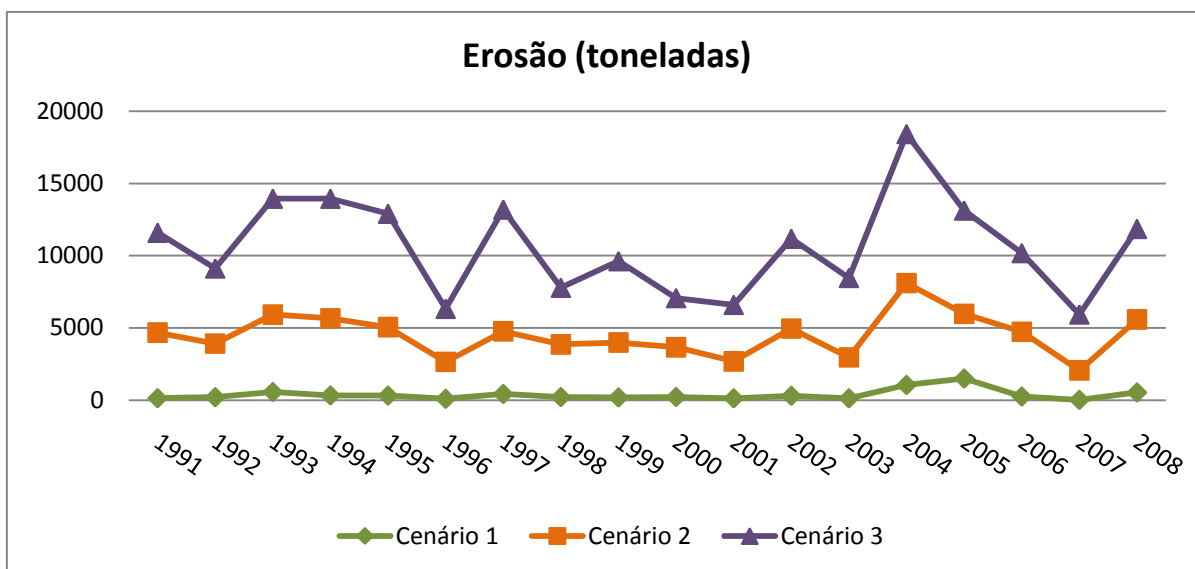


Figura 41 – Carga total erodida anualmente de acordo com os diferentes usos e ocupação do solo.

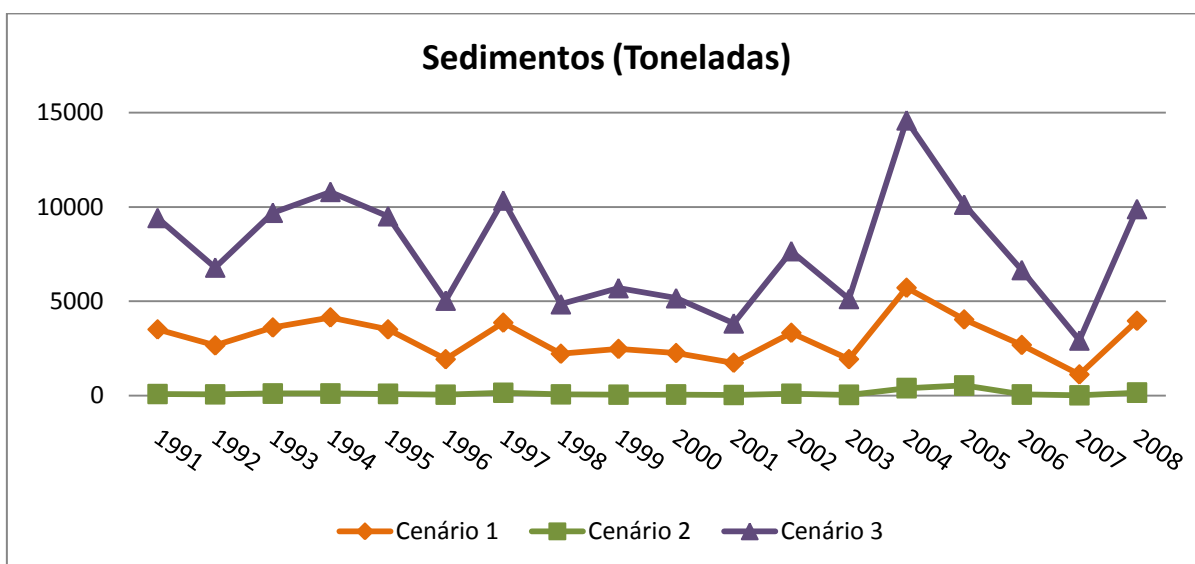


Figura 42 - Carga total de sedimentos gerados anualmente de acordo com os diferentes usos e ocupação do solo.

Observando os resultados do cenário atual da bacia (cenário 2) determinou-se que ao longo dos 18 anos de análise de simulação foram erodidos uma média anual de 4.511 toneladas/ano, chegando em média 3.035 toneladas/ano de sedimentos ao curso d'água, conseqüentemente um total de 57.670 toneladas de sedimentos ao longo destes anos.

Contudo, não se pode inferir que essa carga de sedimentos chegou efetivamente ao lago do Descoberto ocasionando seu assoreamento, pois uma parte disso foi depositada nos próprios córregos e em partes planas da bacia.

Comparando a diferença da carga de sedimentos gerados nos três cenários, pode-se deduzir que além dos fatores exógenos do clima, e endógenos do tipo de solo e declividade, as principais causas da ocorrência dos processos de erosão são as ações antrópicas, onde estão intimamente ligadas ao desmatamento e posterior uso do solo para ocupação urbana e agrícola.

Por se tratar de uma bacia que deságua diretamente no lago do Descoberto, um possível aumento na carga de sedimentos por uma maior ocupação agrícola e urbana e a não preservação da área pode-se refletir na redução da vida útil e da qualidade do lago do Descoberto, importante manancial do Distrito Federal.

Segundo dados da CAESB (2011) esses dados de carga de sedimentação podem ter sido observados ao longo de 25 anos, quando o volume de água do lago do Descoberto caiu 18%.

Em suma, observa-se a necessidade de um gerenciamento adequado da bacia do Descoberto onde a produção, transporte e deposição dos sedimentos são processos que, quando intensificados pela alteração ou usos inadequados do solo, podem gerar problemas econômicos e sociais para a sociedade. A compreensão desses processos é fundamental para quantificar a dinâmica da água e dos sedimentos na bacia hidrográfica e verificar como e o quanto as transformações realizadas no ambiente podem causar impactos sócio-econômicos-ambientais.

6 CONCLUSÕES

A modelagem hidrossedimentológica da BHCC permitiu analisar resultados no âmbito do desenvolvimento de processos envolvendo a quantidade da água e a produção de sedimentos na bacia como consequência do uso e ocupação do solo.

A erosão dos solos e consequente produção de sedimentos tiveram destaque neste estudo, com o intuito de relacionar os diferentes usos de solo com os processos erosivos e os impactos que os mesmos acarretam ao meio ambiente, principalmente quando intensificados.

O modelo SWAT mostrou a sensibilidade da bacia às mudanças dos cenários de uso do solo, permitindo modelar a dinâmica hidrossedimentológica, tornando possível avaliar qualitativamente o quanto essas modificações feitas nos usos de solo influenciaram no escoamento superficial e na carga de sedimentos, além de permitir estimar as mudanças nos parâmetros do balanço hídrico na bacia estudada.

O estudo evidenciou a influência do uso do solo nas variáveis hidrológicas, com o aumento da geração do escoamento superficial e da produção dos sedimentos com o progressivo incremento do uso do solo. Dessa forma, tomando como base a bacia antes da ocupação (cenário 1), ocorreu em média um aumento de 278% no escoamento superficial e 2.514% na carga de sedimentos para a situação atual (cenário 2) e um aumento de 638% no escoamento superficial e 6.471% na carga de sedimentos considerando um cenário de ocupação total (cenário 3).

No caso da bacia do Descoberto, por sua grande importância para o abastecimento, o estudo mostra a necessidade de um estreito controle do uso e ocupação do solo, principalmente com relação à urbanização.

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com base no presente trabalho sugerem-se alguns estudos que podem ser desenvolvidos a fim de contribuir, com melhor compreensão e segurança, aos processos hidrossedimentológicos da área de estudo:

- ✓ Ampliar a base de dados em relação ao período histórico de dados observados de vazão para a BHCC a fim de melhorar as perspectivas de calibração e verificação do modelo;
- ✓ Utilizar os dados de descarga sólida na BHCC na calibração e verificação do modelo;
- ✓ Estudar outros cenários, como estender a ocupação dentro dos limites do novo código ambiental que ainda está em processo de aprovação no senado federal;

Reafirma-se assim, a necessidade da abrangência do entendimento dos processos erosivos e hidrossedimentológicos, que se caracteriza por possuir diferentes formas de expressão na paisagem e inúmeros fatores de influência, entre eles o próprio homem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito federal. Disponível em: < <http://www.adasa.df.gov.br/>>. Acesso em 29 de março de 2011.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos 2. 126p. 2007.

ÁVILA, C.J.C.P.; ASSAD, E.D.; VERDESIO, J.J.; EID, N.J.S.; FREITAS, M.A.V. **Geoprocessamento da Informação Hidrológica. O estado das águas no Brasil**, ANEEL/SRH/OMM, Brasília, v.1, p.187-196, 1999.

AVILA, V.B. **Relação entre o uso e manejo do solo em uma bacia rural e a contribuição de Nitrogênio, fósforo e sedimentos a corpos hídricos**. 2005. 114f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental E Recursos Hídricos), Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal. 2005.

BALDISSERA, G.C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. 2005. 148f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Universidade do Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso. 2005.

BICALHO, C.C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto**. 2006. 123f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal. 2006.

BRASIL, Decreto n. 88940, de 07 de novembro de 1983. **Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção Ambiental das Bacias dos Rios São Bartolomeu e Descoberto, e de outras providências**. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, Brasília, p. 018881, 9 nov, Seção 1, 1983.

BRASIL, Presidência da Republica. Comissão Interministerial para Preparação da Conferencia das Nações Unidas sobre Meio ambiente e Desenvolvimento. **O desafio do desenvolvimento sustentável: relatório do Brasil para a conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Brasília: Secretaria de Imprensa, 204p, 1991.

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Produtos e Serviços - Água e Esgotos no Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.caesb.df.gov.br/>>. Acesso em 27 de abril de 2011.

CARVALHO, N.O., CUNHA, S.B. **Contribuição de sedimentos do Amazonas para o oceano**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória, ES. 1997.

CECILIO, R.A.; REIS, E.F. Apostila Didática de Manejo de Bacias Hidrográficas, Universidade Federal do Espírito Santo, 10 p., 2006

CHRISTOFIDIS, D. **Os recursos hídricos: abastecimento humano, industrial e irrigação no Distrito Federal**. I simpósio Recursos Hídricos Centro Oeste, ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Brasília, 2005.

CRULS, L. **Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil**. Brasília. CODEPLAN. 5 ed. (1995). 343p. 1894.

De VITO, M. **Avaliação do risco de contaminação de mananciais hídricos para o abastecimento: o caso da bacia da barragem do Descoberto**. 2007. 181f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal. 2007.

EMATER/DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.emater.df.gov.br/>>. Acesso em 26 de abril de 2011.

FALCOMER, J. **Alterações do Uso da Terra na Bacia do Ribeirão Rodeador – Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio Descoberto – DF/GO, no Período de 1965 a 1991**. Projeto de divulgação técnico-científica do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, 54 p, 2001.

FOHRER, K.; ECKHARDT, K.; HAVERKAMP, S.; FREDE, H.G. **Applying the SWAT model as a decision support tool for land use concepts in peripheral regions in Germany**. 10 th International Soil Conservation Organization Meeting. Purdue University and USDA-ARS National soil Erosion Research Laboratory, p. 24-29, 1999.

FRAGOSO, M.M.A. **Estudo Hidrológico e de Transporte de Sedimento em uma Bacia do Bioma Cerrado: Bacia do Córrego Capão Comprido/Distrito Federal**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal. 2007.

GALETI, P.A. **Conservação do Solo; Reflorestamento; Clima**. 2 ed. Instituto campineiro de Ensino Agrícola, Campinas (SP), 286 p, 1979.

GARRIDO, J.M. **Aplicação de Modelo Matemático de Simulação com Utilização de SIG à Bacia do Rio Jiquiriçá – Bahia**. 2003. 186f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2003.

GRAYSON, R.B.; MOORE, I.D.; McMAHON, T.A. Physically-based hydrologic modeling: II Is the concept realistic. **Water Resources Research**, v.26, n.10, p. 2659-2666, 1992.

GRIG, N.S. **Water resources management: principles, regulations, and cases**. New York: McGraw-Hill Book, p.540, 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 06 de maio de 2011.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Base de dados climáticos. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>> Acesso em 1 de março de 2011.

KOBIYAMA, M. **Manejo de Bacias Hidrográficas - Conceitos básicos**. In: Curso de Extensão: Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 29-31, 1999.

KOBIYAMA, M.; MANFROI, O. J. **Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas.** In: Curso de Extensão: Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba p.111-118, 1999.

LINO, J.F.L. **Análise da dinâmica hidrossedimentológica da bacia do Rio Preto (SC) com o Modelo SWAT.** 2009. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 2009.

LOPES, G. R. **Estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos na bacia do córrego do Capão Comprido, DF.** 2010. 123f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recurso Hídricos), Departamento de Engenharia Civil Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2010.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002 154f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 2002.

MALUTA, S. **Aplicação do modelo SWAT na bacia do Rio Negrinho – SC.** 2010. 97f. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MANKIN, K.R.; WANG, S.; KOELIKER, J.K. Water-shed-lake water quality modeling: verification and application. (Research). **Journal of Soil and Water Conservation.** v. 58 p. 88, 2003.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição das águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP.** 2005. 171f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, São Paulo, 2005.

MENDES, C.A. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: fundamentos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p.47-66, 1996.

MINOTI, R. T. **Abordagens qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi-Superior/SP.** 2006. 247f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). UFSCar, São Carlos, São Paulo, 2006.

MOTA, S. Preservação e conservação de recursos hídricos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 200p, 1995.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento.** São Paulo: Makron Books, p. 412, 1995.

NASCIMENTO, A. C., CAMPANA, N. A. EID, N. J. **Reconstituição de vazões mínimas. Estudo de caso: Bacia do Córrego Capão Comprido.** In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Brasília, DF, 2000.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. Soil and water assessment tool - Theoretical documentation version 2005. **Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station**, 541p, 2005.

NEVES, F.F.; SILVA, F.G.B.; CRESTANA, S. Uso do modelo AVSWAT na avaliação do aporte de nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais de uma microbacia hidrográfica contendo atividade avícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 11, n. 4, p. 311-317, 2006.

NOVACAP, Companhia urbanizadora da nova capital do Brasil. Disponível em <<http://www.novacap.df.gov.br>>, 2011.

NOVOTNY, V. Diffuse pollution from agriculture. **Water Science and Technology**. v. 39, n. 3, p. 1-13, 1999.

OLIVEIRA, F.E.C. E LIMA, J.E.F.W. Impactos da Agricultura nos Recursos Hídricos na região do Cerrado. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, DF, p. 50, 2002.

PAIM, J.B.; MENEZES, J.T. Estimativa do balanço sedimentar da bacia do rio Tijucas (SC-Brasil) a partir da aplicação do modelo hidrológico SWAT. **Revista Geográfica Acadêmica** v.3, n.2, p.5-14, 2009.

PEREIRA, J.S. **Recursos Hídricos – Conceituação, disponibilidade e usos**. Câmara dos deputados, Consultoria Legislativa, Brasília (DF), p. 25, 2004

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI, A.J.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas, Jaguariúna, **Embrapa/CNPMA**, p.83, 1997.

RAVEN, P.H.; BERG, L.R.; JOHNSON, G.B. Environment. **Saunders College Publishing**. p. 579, 1998.

REATTO, A., MARTINS, E. S., CARDOSO, E. A., SPERA, S. T., CARVALHO JR., O. A. C., SILVA, A. V. E FARIAS, M. F. R. **Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do alto curso do Rio Descoberto, DF/GO, escala 1:100000**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Nº 92. EMBRAPA Cerrados, Distrito Federal, 2003.

REIS, L. G. M., PAZ, A. R., LIMA, H. V. C. **Metodologia simplificada para estimar o aporte de cargas e simular a qualidade da água em pequenas bacias hidrográficas**. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa/PB. ABRH, 2005.

ROSSI PISA, P., PRETI, F., ROSSI, M., VENTURA, F., MAZZANTI, B. Water, soil and chemical losses: field experiments and model analysis. **Water Science and Technology**. v. 39, n.3, p. 93-102, 1999.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 184, 2004.

SEPLANTEC - Secretaria Do Planejamento, Ciência e Tecnologia, **Recursos Hídricos no Estado da Bahia – Ênfase no semi-árido**. Salvador. p. 105, 1995.

SOUZA, M.A.A. **Relação entre as atividades ocupacionais e a qualidade da água no Cerrado**. In: Novaes Pinto, M. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Ed UnB/SEMATEC, Brasília, 181-204, 1990.

SRINIVASAN, R., ARNOLD, J.G. Integration of the basin-scale water quality model with GIS. **Water Resources Bulletin**, v. 30, n 03, p. 453-462, 1994.

THOMANN, R. V., MUELLER, J. A. **Principles of Surface Water Quality Modeling and control**. Nova Iorque: Harper Collins, p. 644, 1987.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - World Water Assessment Programme. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/iyfw2/water_use.shtml>. Acesso em: 4 de maio de 2011.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **A guide to the global environment: environmental changes and human health**. WRI, UNEP, UNDP, World Bank, Oxford University Press: Oxford. 369p, 1998.

**APÊNDICE A – Resultados médios anuais do balanço hidrológico gerados pelo SWAT,
nos diferentes cenários**

Cenário 1				
Ano	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Escoamento superficial (mm)	Percolação (mm)
1991	1563.10	616.42	134.18	700.21
1992	1800.10	675.96	122.95	868.44
1993	1288.10	651.29	131.85	425.84
1994	1513.60	592.82	141.07	671.62
1995	1394.70	566.84	132.25	594.47
1996	1146.50	646.43	81.69	345.99
1997	1457.10	604.77	136.18	619.82
1998	1224.90	679.43	108.30	377.50
1999	1311.50	637.16	116.77	456.98
2000	1426.20	684.73	124.74	520.68
2001	1287.90	737.47	82.34	397.87
2002	1427.20	693.14	135.56	503.13
2003	1066.80	656.15	68.66	283.52
2004	1706.00	673.31	180.06	728.14
2005	1331.80	666.50	128.01	458.27
2006	1590.70	699.10	159.38	618.94
2007	982.00	607.21	47.82	285.63
2008	1593.40	673.41	141.97	650.54
<i>Média</i>	<i>1395.09</i>	<i>653.45</i>	<i>120.77</i>	<i>528.20</i>
<i>Total</i>	<i>25111.60</i>	<i>11762.15</i>	<i>2173.79</i>	<i>9507.60</i>

Cenário 2				
Ano	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Escoamento superficial (mm)	Percolação (mm)
1991	1563.10	691.51	31.00	727.44
1992	1800.10	740.70	27.35	898.91
1993	1288.10	719.73	40.69	444.60
1994	1513.60	624.70	37.60	739.21
1995	1394.70	633.60	34.96	621.80
1996	1146.50	705.15	19.60	348.41
1997	1457.10	659.66	38.98	659.18
1998	1224.90	751.21	31.48	386.16
1999	1311.50	706.15	24.82	472.07
2000	1426.20	741.89	25.67	558.18
2001	1287.90	802.31	18.17	397.81
2002	1427.20	754.84	41.30	532.10
2003	1066.80	693.90	13.05	298.40
2004	1706.00	721.62	58.00	798.07

Cenário 2 (continuação)				
Ano	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Escoamento superficial (mm)	Percolação (mm)
2006	1590.70	764.00	48.80	659.88
2007	982.00	665.69	6.29	276.85
2008	1593.40	731.99	33.27	687.70
<i>Média</i>	<i>1395.09</i>	<i>712.48</i>	<i>31.73</i>	<i>555.73</i>
<i>Total</i>	<i>25111.60</i>	<i>12824.56</i>	<i>571.10</i>	<i>10003.07</i>

Cenário 3				
Ano	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Escoamento superficial (mm)	Percolação (mm)
1991	1563.10	561.06	268.70	633.57
1992	1800.10	641.22	251.90	783.80
1993	1288.10	611.95	245.14	366.50
1994	1513.60	552.18	276.63	591.67
1995	1394.70	516.76	258.68	532.14
1996	1146.50	598.12	164.01	318.54
1997	1457.10	559.61	264.82	549.44
1998	1224.90	637.72	203.76	333.64
1999	1311.50	599.40	230.55	394.04
2000	1426.20	658.67	248.63	437.76
2001	1287.90	712.61	168.88	343.86
2002	1427.20	665.46	251.63	427.61
2003	1066.80	621.81	144.54	248.31
2004	1706.00	624.13	334.96	641.75
2005	1331.80	632.44	240.66	390.75
2006	1590.70	659.49	298.39	535.79
2007	982.00	570.73	107.36	265.44
2008	1593.40	613.20	282.96	588.06
<i>Média</i>	<i>1395.09</i>	<i>613.14</i>	<i>235.68</i>	<i>465.70</i>
<i>Total</i>	<i>25111.60</i>	<i>11036.56</i>	<i>4242.22</i>	<i>8382.66</i>

APÊNDICE B – Resultados anuais do balanço sedimentológico gerados pelo SWAT, nos diferentes cenários

Cenário 1				
Ano	MUSLE (ton/ha)	Sedimentos (ton/ha)	Musle (tons)	Sedimentos (tons)
1991	2.817	2.112	4677.000	3505.612
1992	2.357	1.599	3913.247	2654.002
1993	3.566	2.173	5919.233	3607.692
1994	3.410	2.495	5660.692	4142.746
1995	3.044	2.111	5053.809	3505.187
1996	1.596	1.159	2650.028	1923.750
1997	2.870	2.328	4764.290	3865.249
1998	2.324	1.333	3857.923	2213.362
1999	2.402	1.488	3987.798	2469.983
2000	2.205	1.356	3659.793	2250.456
2001	1.617	1.045	2684.002	1735.058
2002	2.988	2.004	4960.142	3326.890
2003	1.782	1.161	2958.073	1926.769
2004	4.881	3.444	8102.326	5717.435
2005	3.596	2.430	5970.385	4033.379
2006	2.852	1.614	4734.292	2680.188
2007	1.242	0.672	2062.604	1116.143
2008	3.365	2.386	5585.594	3961.142
<i>Média</i>	<i>2.717</i>	<i>1.828</i>	<i>4511.179</i>	<i>3035.280</i>
<i>Total</i>	<i>51.630</i>	<i>34.739</i>	<i>85712.408</i>	<i>57670.322</i>

Cenário 2				
Ano	MUSLE (ton/ha)	Sedimentos (ton/ha)	Musle (tons)	Sedimentos (tons)
1991	0.084	0.046	138.728	77.131
1992	0.124	0.040	206.400	66.482
1993	0.339	0.065	563.285	108.314
1994	0.198	0.065	329.270	108.067
1995	0.191	0.054	316.788	89.859
1996	0.055	0.026	91.975	43.722
1997	0.260	0.089	431.623	148.062
1998	0.131	0.042	217.668	69.667
1999	0.115	0.028	191.617	47.157
2000	0.132	0.033	219.689	54.392
2001	0.079	0.022	131.302	36.556
2002	0.183	0.059	304.015	97.991
2003	0.078	0.023	128.900	37.669
2004	0.634	0.237	1052.810	394.051
2005	0.904	0.321	1500.482	533.314
2006	0.154	0.035	255.126	58.764

Cenário 2 (continuação)				
Ano	MUSLE (ton/ha)	Sedimentos (ton/ha)	Musle (tons)	Sedimentos (tons)
2008	0.323	0.094	535.740	155.895
<i>Média</i>	<i>0.222</i>	<i>0.072</i>	<i>368.863</i>	<i>118.934</i>
<i>Total</i>	<i>4.222</i>	<i>1.361</i>	<i>7008.399</i>	<i>2259.751</i>

Cenário 3				
Ano	MUSLE (ton/ha)	Sedimentos (ton/ha)	Musle (tons)	Sedimentos (tons)
1991	6.983	5.672	11592.820	9416.389
1992	5.492	4.090	9118.021	6789.904
1993	8.404	5.839	13951.317	9692.900
1994	8.403	6.505	13950.401	10798.821
1995	7.776	5.727	12909.453	9507.423
1996	3.807	3.033	6319.448	5035.708
1997	7.952	6.229	13200.707	10341.004
1998	4.687	2.919	7781.507	4846.095
1999	5.795	3.433	9621.089	5698.986
2000	4.258	3.112	7068.413	5165.505
2001	3.974	2.308	6597.406	3831.387
2002	6.732	4.613	11176.573	7657.373
2003	5.097	3.086	8462.082	5123.460
2004	11.103	8.787	18431.660	14586.812
2005	7.910	6.098	13130.856	10123.171
2006	6.134	4.009	10183.331	6656.120
2007	3.572	1.762	5930.394	2924.853
2008	7.143	5.957	11858.519	9889.353
<i>Média</i>	<i>6.401</i>	<i>4.621</i>	<i>10626.889</i>	<i>7671.403</i>
<i>Total</i>	<i>121.624</i>	<i>87.799</i>	<i>201910.886</i>	<i>145756.666</i>